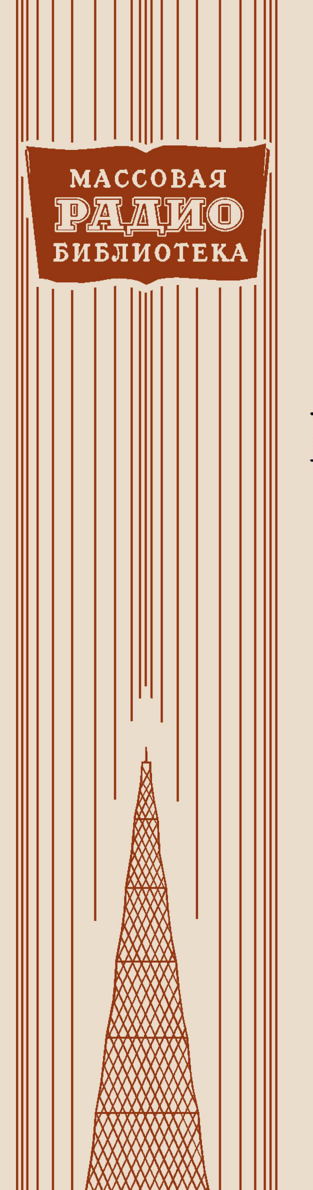
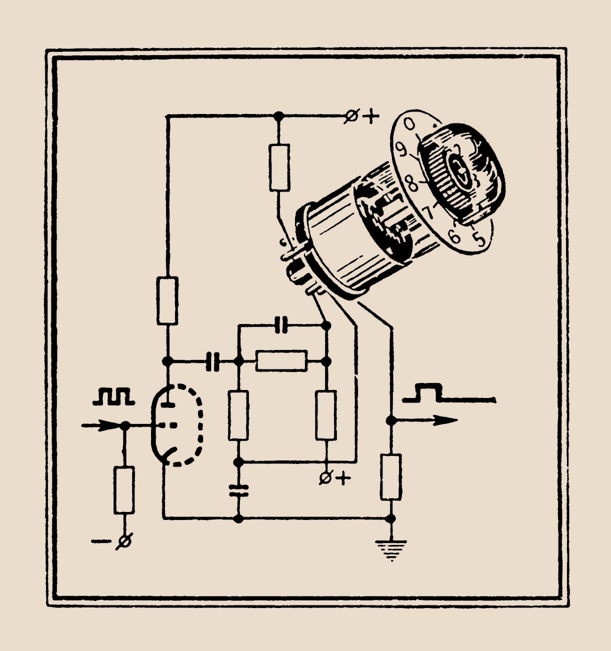


В. М. ЛИПКИН

ДЕКАТРОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ





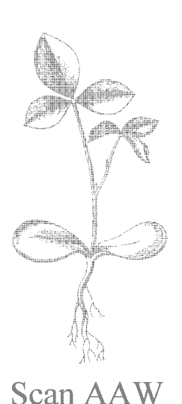
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 359

В. М. ЛИПКИН

ДЕКАТРОНЫ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

В брошюре изложены основные сведения о газоразрядных счетных лампах-декатронах и схемах их управления. Рассмотрены различные типы счетчиков, делителей частоты, генераторов и другой измерительной и регулирующей аппаратуры, построенной на декатронах, а также схемы необходимых вспомогательных устройств.

Брошюра рассчитана на подготовленных радиолюбителей и работников заводских лабораторий.

Липкин Вениамин Михайлович

ДЕКАТРОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Редактор *Ф. М. Яблонский* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 4/XI 1959 г. Подписано к печати 14/I 1960 г
Т-01233. Бумага 84×108¹/₃₂ 3,3 печ. л. Уч.-изд. л. 3,7
Тираж 30 000 экз. Цена 1 р. 50 к. Заказ 576

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее распространение получают электронные счетные схемы, которые широко используются не только в цифровых вычислительных машинах, но и в разнообразных измерительных, счетных и регулирующих приборах. Получение выходной величины в виде цифры (дискретный выход) создает условия для повышения точности измерения и облегчения обработки его результата. Достоинством электронных счетных схем по сравнению с аналогичными электромеханическими является резкое увеличение предельной скорости счета и простота управления с помощью электрических сигналов.

Счетные электронные схемы строятся не только на электронных лампах или транзисторах. Развитие этой области привело к созданию приборов, специально предназначенных для цифрового счета в десятичной системе счисления. К таким приборам относятся трохотроны, газоразрядные многокатодные лампы — декатроны и т. д.

Для арифметических, измерительных и регулирующих цифровых приборов, речь о которых пойдет ниже, в принципе возможно применение любых из перечисленных счетных элементов. Однако в случаях, когда требуется счет в десятичной системе счисления и скорость счета может не превышать 10—20 *кгц*, применение декатронов дает ряд преимуществ по сравнению со счетными устройствами, использующими элементы других типов.

Декатрон представляет собой многоэлектродную газонаполненную лампу, состоящую из дискового анода, и расположенных вокруг него проволочных катодов. При подаче входных импульсов тлеющий разряд, горящий между анодом и одним из катодов. направленно перемещается вдоль кольца катодов

Считывание результата может производиться визуально—через купол баллона декатрона по положению разрядного свечения, а также электрически—по напряжению на нагрузке в цепи катодов.

Преимущества счетной схемы на декатроне перед другими электронными счетными устройствами заключаются в простоте используемой схемы и возможности визуальной индикации результата, а также в высокой экономичности, обусловленной использованием холодных катодов.

Пересчетная ячейка на декатроне использует в простейшем случае вакуумный триод и несколько сопротивлений и конденсаторов, не считая самого декатрона. Потребляемая декатроном мощность от источника питания составляет около 0,6 *вт* при токе 1,5 *ма.* Декадное пересчетное устройство на вакуумных лампах с подобными функциями требует четыре сдвоенных триода, около пятидесяти конденсаторов и сопротивлений и десять индикаторных неоновых ламп. Такая схема, кроме того, потребляет сравнительно большую мощность от источника питания.

Пересчетная схема на транзисторах имеет существенные преимущества в величине потребляемой мощности питания, надежности и габаритах перед схемой на вакуумных лампах, однако она требует громоздких устройств для осуществления визуального считывания результата.

Указанные преимущества счетных схем на декатронах обеспечивают им все большее распространение в измерительной, испытательной и регулирующей аппаратуре. В последнее время появилось много сведений о разнообразных применениях, которые находят декатроны вследствие своей экономичности, надежности, простоты используемых схем и удобства считывания результата.

В данной брошюре поставлена цель ознакомить читателя с принципами работы различных типов декатронов, схемами их управления, а также дать материалы по использованию декатронов в различных радиоэлектронных устройствах.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИНЦИП РАБОТЫ ДЕКАТРОНА

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕКАТРОНОВ

Декатрон представляет собой газоразрядный прибор с холодным катодом, основу конструкции которого составляет анод с симметрично расположенными вокруг него катодами. Разряд, одновременно поддерживающийся только на одном из катодов, может переводиться на следующий катод с помощью управляющих импульсов, сформированных внешней схемой.

Декатроны различаются как по способу переноса разряда с катода на катод, так и по выполняемым схемным функциям, обеспечиваемым соответствующими выводами электродов на цоколь.

По способу переноса разряда декатроны делятся на двухимпульсные и одноимпульсные, а по выполняемым функциям — на счетные и коммутаторные.

ДВУХИМПУЛЬСНЫЙ ДЕКАТРОН

В настоящее время выпускается много типов двухимпульсных декатронов. Для пояснения устройства и принципа работы декатрона рассмотрим двухимпульсный счетный декатрон типа ОГ5 (рис. 1).

Этот декатрон состоит из тридцати штыреобразных катодов, симметрично расположенных вокруг дискообразного анода (рис. 2). Все электроды помещены в стеклянный баллон лампы, наполненный газом. Тридцать катодов декатрона разбиты на десять групп по три несущих разные функции катода в каждой. Один из них называется индикаторным катодом (*К*), а два других — первым и вторым подкатодами (*1ПК* и *2ПК*).

Катоды одинакового назначения соединены внутри баллона в катодные кольца, имеющие вывод на цоколь. Исключением является один из индикаторных катодов (нуле-

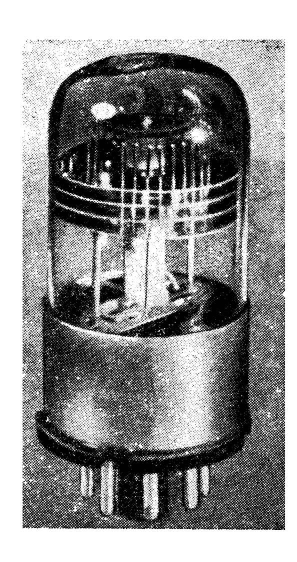


Рис. 1. Общий вид двухимпульсного декатрона типа 0Г5.

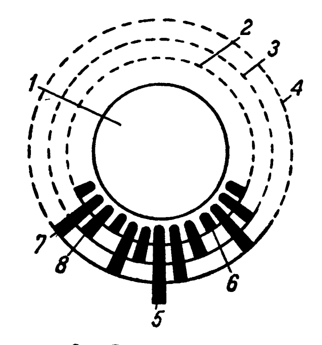


Рис. 2. Схема расположения электродов в декатроне типа 0Г5.

1 — анод *(А)*; *2* — кольцо, объединяющее индикаторные катоды *1* — *9*; *3* — кольцо, объединяющее первые подкатоды *(1ПК)*; *4* — кольцо, объединяющее вторые подкатоды *(2ПК)*; *5* — нулевой индикаторный катод *(ОК)*; *6* — девятый индикаторный катод; *7* — вторые подкатоды; *8* — первые подкатоды.

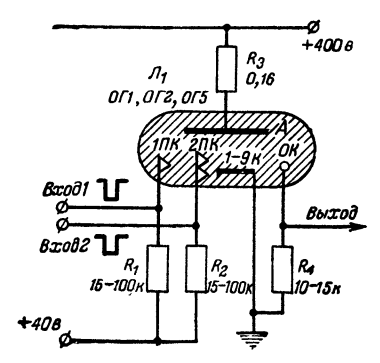


Рис. 3. Электрическая схема включения декатрона.

вой), который имеет отдельный вывод на цоколь. Этот катод используется в качестве выходного электрода, а также служит для сброса отсчета (установки на нуль).

Электрическая схема включения декатрона приведена на рис. 3. Питание декатрона осуществляется от источника, напряжение которого должно превосходить напряжение зажигания декатрона. Для того, чтобы разряд нормально устанавливался на катодах, на подкатоды через развязывающие сопротивления R_1 и R_2 подается положительное смещение порядка 40—60 *в*, благодаря чему напряжение между анодом и подкатодами становится ниже, чем на-

пряжение между анодом и катодами. После зажигания разряда между анодом и катодом устанавливается напряжение горения. Для ограничения тока служит сопротивление в анодной цепи декатрона R_3. При нормальном рабочем токе в силу особенностей тлеющего разряда свечение устанавливается только на одном из индикаторных катодов декатрона. Пределы рабочего тока, при котором происходит нормальная работа декатрона, указываются в его паспорте.

Перенос разряда с любого индикаторного катода на следующий осуществляется подачей на кольца подкатодов двух отрицательных смещенных друг относительно друга во времени импульсов. Формирование импульсов и их временной сдвиг производится управляющей схемой после подачи на ее вход внешнего импульса. В идеальном случае сформированные импульсы прямоугольны и второй импульс начинается сразу после окончания первого, при этом зазор между верхушками импульсов не должен превосходить 1—2 *мксек*.

Первый по времени импульс поступает на кольцо первых подкатодов, второй — на кольцо вторых подкатодов. В момент прихода первого импульса все первые подкатоды приобретают одинаковый отрицательный потенциал, повышающий напряжение между анодом и первыми подкатодами. Так как вблизи «горящего» индикаторного катода имеется область повышенной концентрации ионов и электронов, то напряжение зажигания для первого подкатода, соседнего с «горящим» катодом, оказывается сравнительно низким и на нем возникает разряд. Такой избирательный перенос разряда на соседний электрод лежит в основе действия всех газоразрядных счетных ламп.

После возникновения разряда между анодом и первым подкатодом между ними также устанавливается напряжение горения. Потенциал анода падает на величину, приблизительно равную амплитуде отрицательного импульса на первом подкатоде. Напряжение между анодом и «горевшим» ранее индикаторным катодом при этом становится недостаточным для поддержания разряда между ними, и он гаснет.

Второй отрицательный импульс, подводимый к кольцу вторых подкатодов, вызывает возникновение разряда на штырьке второго подкатода, ближайшем к «горевшему» первому подкатоду. После окончания второго импульса на подкатодах восстанавливается напряжение смещения, и

разряд переходит на штырек индикаторного катода, ближайший к перемещенной ионизированной зоне. Этим заканчивается цикл переноса разряда с одного индикаторного катода на соседний. При подаче следующей пары переносящих импульсов на кольца подкатодов процесс перехода разряда на следующий индикаторный катод повторяется.

Последовательность импульсов, подводимых на вход управляющей схемы, вызывает движение разряда вдоль кольца катодов, причем после каждых десяти входных им-

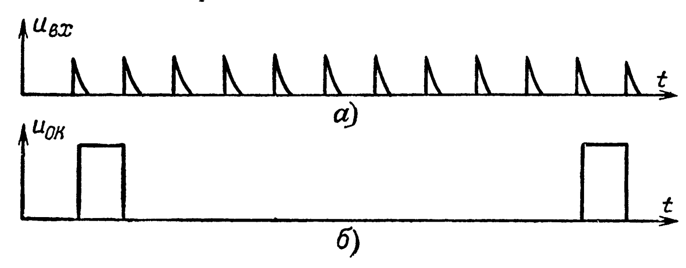


Рис. 4. Импульсы в цепях декатронной ячейки.
а — входные импульсы декатронной ячейки; *б* — выходные импульсы в цепи нулевого катода.

пульсов на сопротивлении R_4 в цепи нулевого катода возникают выходные импульсы, частота повторения которых в десять раз ниже частоты входных импульсов (рис. 4). Меняя временную последовательность управляющих импульсов на кольцах подкатодов, можно изменять направление переноса разряда (реверс счета), что позволяет использовать декатрон непосредственно для вычитания.

Несмотря на кажущуюся сложность получения двух смещенных во времени импульсов, двухимпульсные декатроны получили широкое распространение благодаря надежности в работе и возможности реверсивного счета. Амплитуда отрицательных управляющих импульсов двухимпульсных декатронов лежит в пределах 100—150 *в*, а длительность их — в пределах 15—250 *мксек* (в зависимости от необходимой скорости счета).

ОДНОИМПУЛЬСНЫЙ ДЕКАТРОН

В отличие от двухимпульсных, одноимпульсные декатроны требуют для своей работы лишь одного управляющего импульса, что делает возможным применение более простых схем управления при работе на повышенных ча-

стотах. Эти декатроны имеют несколько более сложную конструкцию, чем двухимпульсные.

Рассмотрим выпускаемый отечественной промышленностью одноимпульсный декатрон типа ОГ3. Этот прибор может работать при скоростях счета до 20 000 *гц*.

Как видно из рис. 5, сорок катодов декатрона, симметрично расположенных вокруг общего анода, разбиты на

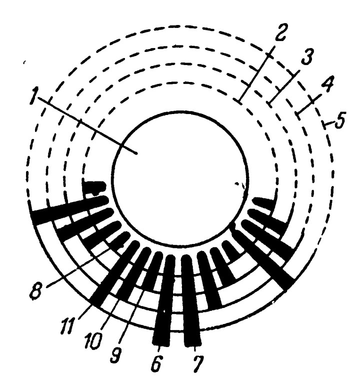


Рис. 5. Схема расположения электродов в декатроне типа ОГ3.

1 — анод (*А*); *2* — кольцо, объединяющее индикаторные катоды *1* — *9*; *3* — кольцо, объединяющее первые подкатоды (*1ПК*); *4* — кольцо, объединяющее вторые подкатоды (*2ПК*); *5* — кольцо, объединяющее третьи подкатоды *1* — *9* (*3ПК*); *6* — нулевой индикаторный катод (*ОК*); *7* — нулевой третий подкатод (*03ПК*); *8* — первый катод; *9* — первый подкатод; *10* — второй подкатод; *11* — третий подкатод.

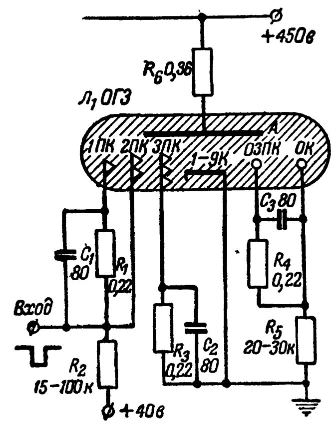


Рис. 6. Электрическая схема включения декатрона типа ОГ3.

десять групп. Катоды с одинаковым назначением объединены в четыре кольца, одно из которых соединяет индикаторные катоды, а остальные — первые, вторые и третьи переносящие подкатоды. Выводы на цоколь имеют катодные кольца первых, вторых и третьих подкатодов и индикаторных катодов. Отдельные выводы имеет нулевой катод и штырек третьего подкатода, расположенный между девятым и нулевым индикаторными катодами. Последние могут служить источником выходных импульсов.

Принципиальная схема включения одноимпульсного декатрона показана на рис. 6. При отсутствии управляющего импульса разряд протекает между анодом и одним из индикаторных катодов. Для переноса разряда на следующий катод на вход схемы подается отрицательный управляющий импульс, вследствие этого разность потенциалов меж-

ду анодом и всеми первыми, а также вторыми подкатодами увеличивается.

Так как напряжение зажигания для штырька первого подкатода, расположенного вблизи «горящего» катода, будет сравнительно низким, то на нем возникает разряд. Одновременно напряжение между анодом и «горящим» индикаторным катодом понижается до величины, недостаточной для поддержания разряда, и он гаснет.

Цепочка R_1C_1 в цепи первых подкатодов состоит из сопротивления достаточно большой величины (порядка 200 *ком*) и конденсатора небольшой емкости (80 *пф*), что определяет быстрое повышение напряжения на кольце первых подкатодов при заряде конденсатора C_1 током первого подкатода. Так как разность потенциалов между анодом и электродом, на который происходит разряд, остается неизменной, то одновременно повышается потенциал анода.

Когда напряжение между анодом и кольцом вторых подкатодов становится выше напряжения зажигания, происходит перенос разряда на штырек второго подкатода, соседний с ионизированной зоной светившегося штырька первого подкатода, и прекращение разряда на первый подкатод.

Следует заметить, что передний фронт отрицательного управляющего импульса не должен быть слишком крутым (не меньше 1—2 *мксек*). В противном случае ионная подготовка штырька второго подкатода может оказаться недостаточной и произойдет перенос разряда в противоположном направлении.

После окончания управляющего импульса на кольцах первых и вторых подкатодов восстанавливается начальное положительное смещение, и разряд переходит на штырек третьего подкатода, соседний с зоной повышенной ионизации. Процесс, аналогичный с процессом в цепи первого подкатода, приводит к переносу разряда на индикаторный катод и прекращению разряда на штырек третьего подкатода.

В промежутке времени, предшествующем подаче следующего входного импульса, конденсаторы C_1, C_2 и C_3 разряжаются на параллельно включенные сопротивления, и на электродах декатрона восстанавливается исходный режим. Подача последующих входных импульсов приводит к перемещению разряда на соседние индикаторные катоды. После десяти входных импульсов на сопротивлениях декатрона R_5 и R_4 возникает выходной импульс.

На рис. 6 видно, что штырек третьего подкатода, предшествующий штырьку выходного (нулевого) катода, имеет индивидуальный вывод и цепь R_4C_3, подсоединенная к нему, подключена непосредственно к выводу нулевого катода. Благодаря этому разность потенциалов между нулевым катодом и третьим подкатодом мало зависит от нагрузки в цепи катода, что обеспечивает быстрый переход разряда с третьего подкатода на нулевой индикаторный катод. Нулевой вывод третьего подкатода в некоторых схемах может быть использован также для получения короткого выходного импульса, который предшествует по времени выходному импульсу на нулевом катоде.

Одноимпульсный декатрон особенно удобен при работе на повышенных скоростях счета, так как схемы формирования одного короткого импульса для управления декатроном сравнительно просты. Недостатком одноимпульсных декатронов является трудность осуществления реверсивного счета. Однако в большинстве применений это и не требуется.

КОММУТАТОРНЫЕ ДЕКАТРОНЫ

Большое число задач автоматики, измерений и телеметрии решается с помощью так называемых коммутаторных декатронов. Отличие коммутаторного декатрона от обычного или счетного декатрона состоит в том, что на его цоколь выводятся не только нулевой катод и кольцо остальных катодов, а отдельно все штырьки индикаторных катодов. Благодаря этому коммутаторный декатрон позволяет производить бесконтактное переключение в многоканальных электрических цепях, а также фиксировать количество входных импульсов не только визуально, но и электрически с помощью нагрузочных сопротивлений, включенных в цепь катодов.

Коммутация и логические операции, осуществляемые с помощью таких декатронов, сильно расширяют область их использования по сравнению со счетными. Помимо коммутаторных и счетных, существуют промежуточные типы декатронов, в которых выведены на цоколь несколько дополнительных штырьков катодов или подкатодов.

ТИПЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДЕКАТРОНОВ

В зависимости от типа декатрон требует для своей работы соответствующие напряжения питания, рабочие токи и определенные характеристики управляющих импульсов.

В табл. 1 приведены данные выпускаемых нашей промышленностью декатронов и характеристики управляющих импульсов для них.

Таблица 1

Параметры	Тип декатрона			
	ОГ1*	ОГ2*	ОГ3	ОГ5**
Напряжение зажигания, *в*	$\leqslant 300$	$\leqslant 300$	$\leqslant 420$	$\leqslant 350$
Напряжение горения, *в*	150	150	190	175
Анодный ток, *ма*	1,1 — 1,5	1,1—1,5	07,$\pm$0,1	1,3$\pm$0,2
Напряжение питания, *в*	360 — 450	360—450	450$\pm$10	400
Вид управляющих импульсов	Двойной	Двойной	Одиночный	Двойной
Амплитуда отрицательных управляющих импульсов, *в*	120 — 150	120—150	100—120	100—120
Длительность управляющих импульсов, *мксек*	40	60	18$\pm$2	30—35
Напряжение на катодной нагрузке (максимальное), *в*	15 $\pm$ 5	15$\pm$5	15$\pm$5	$\leqslant 20$
Напряжение смещения на первом и втором подкатодах, *в*	+50$\pm$25	+50$\pm$25	+40$\pm$10	+60$\pm$20
Максимальная скорость счета, импульсы в секунду	8 000	3 000	20 000	10 000
Назначение	Десятипозиционный счетчик			

* Не рекомендуется к применению

** Данные предварительные.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕКАТРОНАМИ

УПРАВЛЯЮЩИЕ СХЕМЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

Ниже приводятся описания схем формирования управляющих импульсов, запускаемых прямоугольным входным импульсом. Эти же схемы пригодны для многокаскадных декатронных устройств, где выходной импульс на катодной нагрузке предыдущего декатрона является входным для управляющей схемы последующего декатрона.

Прямоугольная форма управляющих импульсов существенна для работы декатрона на высокой скорости счета, так как быстрое установление полной амплитуды импульса на подкатоде сокращает время перевода разряда на новый электрод и тем самым обеспечивает работу на предельно высоких частотах.

Если управляющие импульсы не прямоугольны, то для нормальной работы декатронов их длительность должна

быть увеличена, с тем чтобы длительность импульса вблизи его вершины не оказалась меньше указанной в табл. 1. При этом предельная скорость работы декатрона снижается.

Ввиду того, что формирование прямоугольных импульсов довольно сложно, в случае использования двухимпульсных декатронов на пониженных частотах применяют упрощенные схемы управления. В них простыми средствами достигается расщепление управляющего импульса на два (за счет ухудшения формы импульсов), что компенсируется увеличением их длительности.

В рассматриваемых ниже схемах прямоугольный или близкий к нему по форме импульс подается только на кольцо первых подкатодов, сдвинутый же во времени импульс для вторых подкатодов формируется пассивной RC цепочкой. Так, например, в схеме на рис. 7,*а* после подачи на первый подкатод импульса напряжение на втором подкатоде нарастает постепенно за счет заряда конденсатора C_4 через сопротивление R_3. Обычно постоянная времени RC подбирается так, что напряжение нарастает до максимальной величины за время, равное длительности входного импульса. После окончания импульса на первых подкатодах отрицательное напряжение на вторых подкатодах начинает плавно снижаться, оставаясь достаточно высоким для поддержания разряда на одном из них в течение нескольких десятков микросекунд. Переходу разряда на второй подкатод способствует также спад напряжения между анодом и первым подкатодом за счет заряда конденсатора C_3 током разряда на первом подкатоде. Такая схема удовлетворительно работает при скоростях счета до 3—4 *кгц*. Если скорости счета не превышают 1 *кгц*, то величины сопротивлений R_3, R_4, R_5 и емкость конденсатора C_4 можно увеличить в 2—3 раза.

В управляющей схеме на рис. 7,*б* достигается значительно бóльшая скорость счета, нежели в схеме рис. 7,*а*, за счет использования диода $Д_1$, который способствует стеканию накапливающегося при больших скоростях счета в цепи подкатодов заряда. В остальном механизм работы схем 7,*а* и 7,*б* одинаков. Скорость счета в последней схеме достигает 6—8 *кгц*.

Еще бóльшие скорости работы реализуются схемой на рис. 7,*в*. Здесь первый подкатод декатрона подсоединен к аноду нормально запертого пентода, а второй подкатод— к его экранирующей сетке. После подачи положительного

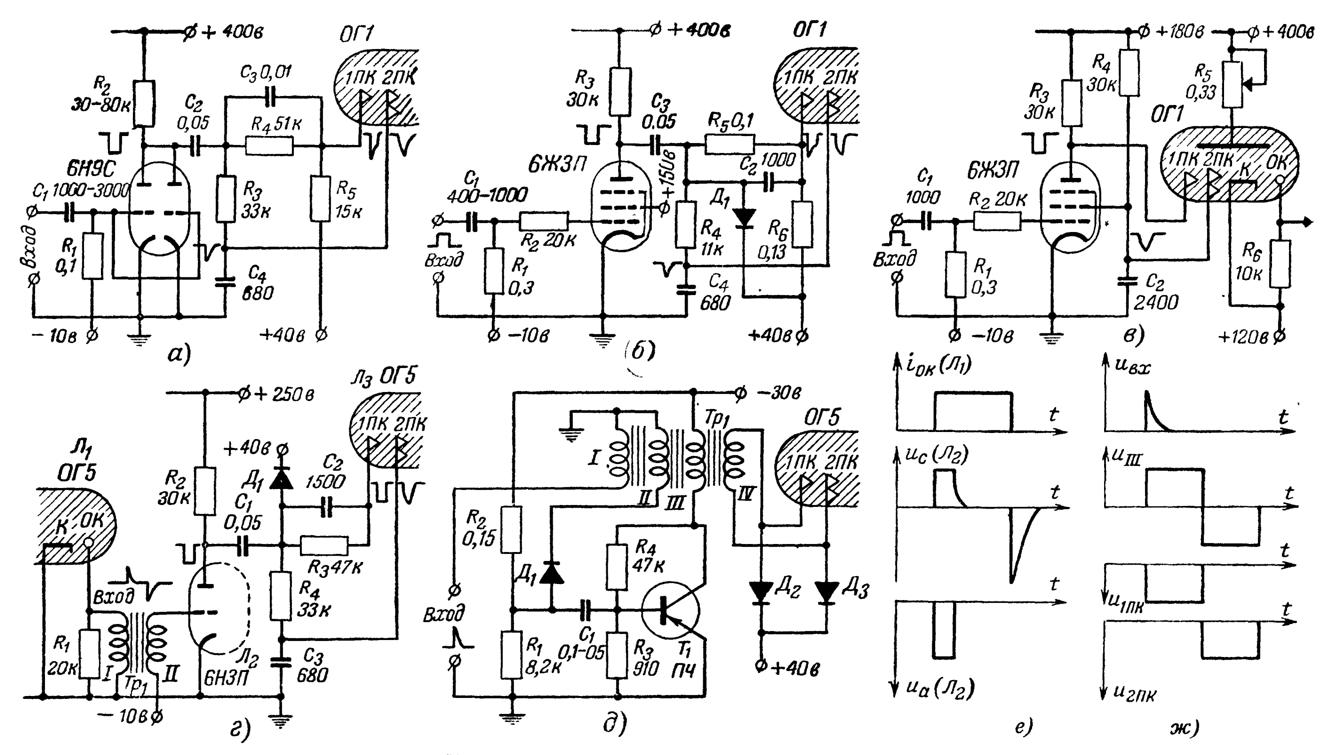


Рис. 7. Упрощенные схемы управления декатронами.

входного импульса на управляющую сетку пентода через него начинает течь ток, напряжение на его аноде падает, благодаря чему разряд в декатроне переходит на первый подкатод. Одновременно ток экранирующей сетки пентода постепенно разряжает конденсатор C_2, что приводит к появлению задержанного отрицательного импульса на втором подкатоде. По имеющимся сведениям, эта схема является вполне удовлетворительной, но для получения предельных скоростей счета ток декатрона должен быть увеличен на 30—50% по сравнению с паспортным значением. Недостатком схемы является большое число используемых напряжений.

Рассмотренные управляющие *RC* схемы предназначены для междукаскадного формирования импульсов, т. е. входной импульс для них снимается с сопротивления, включенного в цепь нулевого катода предыдущего декатрона. Однако, как показала практика, в зависимости от скорости работы декатрона номиналы конденсаторов и сопротивлений пассивных цепей формирования импульсов должны изменяться. При снижении скорости работы декатрона, например, приходится увеличивать емкость конденсаторов C_3 и C_4 в схеме на рис. 7,*а*, C_2 и C_4—в схеме на рис. 7,*б* и C_2 в схеме на рис. 7,*в*.

Управляющая схема для междукаскадного формирования импульсов, приведенная на рис. 7,*г*, свободна от этого недостатка и может использоваться не только в каскадах с разными рабочими скоростями, но и в каскадах с неизвестным заранее распределением во времени входных импульсов. Входной импульс для управляющей лампы формируется импульсным трансформатором Tp_1 (с сердечником из оксифера или другого высокочастотного магнитного материала), вторичная обмотка *II* которого является повышающей. Прямоугольный импульс тока в цепи нулевого катода (рис. 7,*е*) вызывает появление на выходах первичной обмотки *I* трансформатора дифференцированных импульсов, причем положительный импульс соответствует переднему фронту импульса тока в цепи катода декатрона, а отрицательный — заднему фронту. Длительность и амплитуда импульсов зависят от числа витков первичной обмотки и остаются неизменными при изменении скорости счета декатрона.

В схеме на рис. 7,*г* используется трансформатор с сердечником $31\times18\times7$ *мм* из оксифера М-2000. Обмотка *I* содержит 900, а обмотка II — 1 600 витков провода ПЭЛ 0,1.

Соотношение между витками вторичной и первичной обмоток трансформатора подбирается так, чтобы в ненагруженном состоянии амплитуда импульсов вторичной обмотки составляла 20—25 *в*. Положительный импульс на вторичной обмотке трансформатора приобретает форму, близкую к прямоугольной, за счет срезания вершины сеточными токами лампы. На сетку управляющей лампы подается отрицательное смещение 10—15 *в*. Для подавления колебательных процессов в импульсном трансформаторе необходимо шунтировать его первичную обмотку сопротивлением порядка 20—30 *ком*. Схема уверенно работает со скоростями свыше 10 000 *гц* при использовании декатронов типа ОГ5.

Интересна управляющая схема, использующая транзистор (рис. 7,*д*). Она сочетает преимущества декатрона и транзистора, обладающего большим сроком службы и малыми габаритами.

Эта схема представляет собой блокинг-генератор с четырехобмоточным трансформатором $Тр_1$. Функцией обмоток *II* и *III* является создание необходимой для блокинг-генератора положительной обратной связи между коллектором и базой транзистора T_1. Повышающая обмотка *IV* трансформирует напряжение генерируемого сигнала до величины, достаточной для управления декатроном. Обмотка *I* является входной. Для стабилизации параметров транзистор несколько приоткрыт за счет подключения его базы к потенциометру R_4R_3. Сопротивление R_4 играет также роль демпфирующего элемента для подавления колебательных процессов в трансформаторе. Диод $Д_1$ заперт напряжением, снимаемым с потенциометра R_1R_2 и ток через обмотку *II* трансформатора не идет.

Формы напряжений в схеме на рис. 7,*д* показаны на рис. 7,*ж*. В момент поступления внешнего импульса соответствующей полярности на обмотку *I* потенциал точки соединения диода $Д_1$ с обмоткой *II* становится отрицательным, диод начинает проводить и потенциал базы транзистора падает. При этом транзистор отпирается и его проводимость регенеративно увеличивается за счет положительной обратной связи между обмотками *II* и *III*, конденсатор C_1 заряжается током базы, вследствие чего потенциал последней повышается.

Когда нарастание тока через транзистор T_1 прекращается, процесс заряда конденсатора продолжается максимальным током, пока потенциал базы не достигнет положитель-

ного значения, достаточного для некоторого подзапирания транзистора.

Уменьшение тока транзистора вызывает развитие обратного регенеративного процесса. Потенциал коллектора возвращается к исходному состоянию, а затем становится еще более отрицательным за счет действия противо-э. д. с., обусловленной запасенной в трансформаторе энергией.

При спадании э. д. с. потенциал коллектора возвращается к исходному состоянию. После разряда конденсатора C_1 схема готова к запуску следующим внешним импульсом. За счет противо-э. д. с. импульс блокинг-генератора имеет выброс, по форме и амплитуде близкий к положительному, но противоположный полярности.

Импульс, трансформируемый повышающей обмоткой *IV*, разделяется диодами $Д_2$ и $Д_3$ на два последовательных во времени импульса, которые подводятся к кольцам первых и вторых подкатодов декатрона. Диоды включены таким образом, что первая по времени положительная часть импульса блокинг-генератора подается на первый подкатод в виде отрицательного импульса, а вторая — отрицательная часть — поступает на второй подкатод.

В импульсном трансформаторе $Тр_1$ используется сердечник 31×18×7 *мм* из оксифера М-2000. Обмотка *I* содержит 100, обмотки *II* и *III* — по 60 и обмотка *IV* — 300 витков.

Нужно отметить, что для хорошей работы блокинг-генератора обмотка *IV* должна иметь минимальную междувитковую емкость и емкость связи с другими обмотками (большие емкости уменьшают крутизну фронтов управляющего импульса и даже приводят к срыву работы блокинг-генератора).

Длительность импульса блокинг-генератора может быть отрегулирована подбором емкости конденсатора C_1. Так, например, при емкости конденсатора C_1, равной 0,1 *мкф*, длительность импульса равна 40—50 *мксек*, а при C_1, равной 0,5 *мкф*, длительность импульса возрастает до 120—130 *мксек*.

Формирование управляющих импульсов для одноимпульсных декатронов типа ОГ3 не представляет каких-либо дополнительных трудностей, так как в этом случае требуется одиночный отрицательный импульс. Для формирования могут быть использованы, например, схемы на рис. 7,*а*, *б* и *г* без пассивных «расщепляющих» цепей, а так-

же управляющая схема с транзистором. Как было указано выше, фронт импульса не должен быть слишком крутым (не менее 1—2 *мксек*).

КАСКАДНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЕКАТРОННЫХ ЯЧЕЕК

Для подсчета большого числа импульсов (больше десяти) декатронные ячейки соединяются в каскадные цепочки, причем число ячеек в цепочке определяется требуемой емкостью счетчика. Емкость цепочки, т. е. максимальное число импульсов, которые могут быть сосчитаны, равна $10^n -1$, где n — число декатронных ячеек.

Обычная каскадная схема соединения ячеек представляет собой цепочку из n декад, в которой каждая декада состоит из управляющего устройства и декатрона. Выходной импульс с нулевого катода предыдущего декатрона является входным для последующей декады.

При передаче импульса с декатрона на декатрон в такой схеме возникают неизбежные потери времени. Это видно из следующего примера. Если разряд происходит на девятый катод декатрона, то приход десятого счетного импульса на вход управляющей схемы вызывает последовательный переход разряда на штырьки первого и второго подкатодов и лишь затем на штырек нулевого катода (рис. 8). Таким образом, промежуток времени между началом десятого входного импульса и приходом разряда на нулевой катод декатрона приблизительно равен суммарной длительности управляющих импульсов на подкатодах. Так как импульс на нулевом катоде декатрона одновременно является входным для следующей декады, то это будет означать запаздывание (на суммарную длительность управляющих импульсов) передачи импульса с декатрона на декатрон. В случае соединения нескольких ячеек в цепочку выходной импульс последней декады запаздывает по отношению к входному импульсу цепочки на время $n\tau$, где τ — суммарная длительность управляющих импульсов каскада, а n — число каскадов в цепочке.

Так как длительность управляющих импульсов невелика и составляет обычно десятки микросекунд, то для большинства практических случаев такие потери времени вполне допустимы. Однако в некоторых случаях, когда требуется большая точность измерения момента поступления последнего счетного импульса в счетчик, простейшая схема соединения декад, например, с помощью схем на 7,*а* и 7,*б* оказывается неудовлетворительной.

Этот недостаток устраняется в схеме, в которой момент прихода десятого счетного импульса фиксируется по моменту ухода разряда с девятого катода, а не по моменту прихода его на нулевой катод. Если декатрон, например

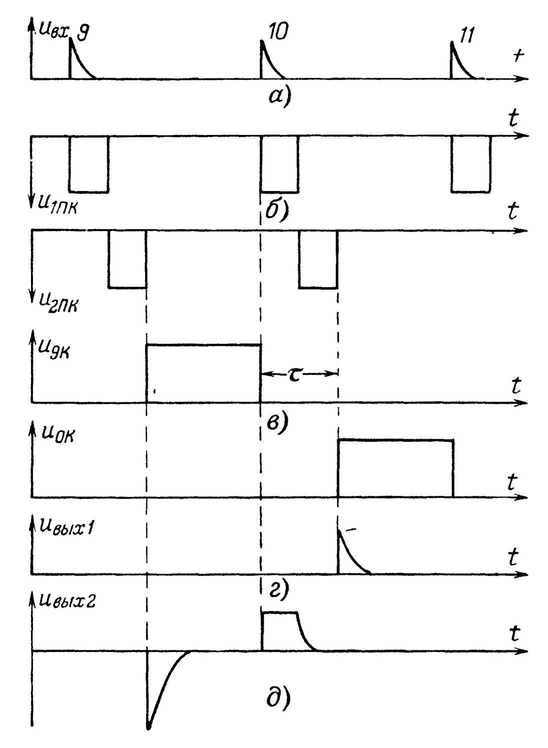


Рис. 8. Напряжение в цепях декатронного каскада.

а — входные импульсы; *б* — импульсы на первом и втором подкатодах, *в* — импульсы в цепи девятого и нулевого катодов; *г* — выходной импульс с нулевого катода, *д* — выходной импульс с девятого катода, полученный с помощью трансформатора.
τ — время задержки между десятым входным импульсом и импульсом на нулевом катоде

коммутаторный, имеет индивидуальный вывод девятого катода, то этот момент определяется по заднему фронту импульса на нагрузке девятого катода. Потери времени управляющей схемы, реагирующей на задний фронт импульса девятого катода, практически очень малы и составляют около 1 *мксек*.

В качестве простой управляющей схемы, реагирующей на задний фронт импульса катода, может быть использована любая из схем типа ждущего триггера, блокинг-генератора или усилительная схема (рис. 7,*г*) с импульсным трансформатором в цепи девятого катода. В последней достаточно лишь изменить полярность включения вторичной обмотки импульсного трансформатора, чтобы в момент окончания импульса на девятом катоде на сетке управляющей лампы следующей декады появился положительный входной импульс (рис. 8,*д*). Каскадное соединение декад по такой схеме дает минимальные потери времени всей цепочки при любой длительности управляющих импульсов.

СОЕДИНЕНИЕ ДЕКАД В ЦЕПОЧКУ ПРИ РЕВЕРСИВНОМ СЧЕТЕ ИМПУЛЬСОВ

Интересным для практики случаем является реверсивный счет импульсов, соответствующий арифметическим операциям сложения и вычитания. Управляющая схема, соединяющая реверсивные каскады, должна реагировать на направление движения разряда предыдущего декатрона. При переходе разряда с девятого катода на нулевой управляющая схема следующего каскада должна генерировать два импульса, обеспечивающие перенос разряда в декатроне в положительном направлении. В случае перехода разряда в направлении от нулевого катода к девятому управляющая схема следующей декады должна сформировать импульсы, переводящие разряд в декатроне в отрицательном направлении.

Управляющие схемы, чувствительные к направлению движения разряда между нулевым и девятым катодами декатрона, довольно сложны, поэтому в настоящее время для получения многокаскадных реверсивных схем используются декатроны с индивидуальными выводами на цоколь штырьков первого и второго подкатодов, расположенных между нулевым и девятым катодами. В дальнейшем будем называть эти подкатоды — управляющими.

Такой декатрон позволяет получить два выходных импульса, расположение которых во времени зависит от направления движения разряда в декатроне. Для получения импульсов управляющие подкатоды соединяются с кольцами подкатодов через нагрузочные устройства Z_1 и Z_2 (рис. 9,*а*). При переходе разряда от девятого катода к нулевому или наоборот на Z_1 и Z_2 возникают импульсы напряжения, обусловленные током разряда на подкатоды

Длительность импульсов равна длительности входных управляющих импульсов, а временной порядок определяется направлением движения разряда в декатроне. Если, например, разряд в декатроне движется от девятого катода к нулевому, то импульсы сначала возникают на пер-

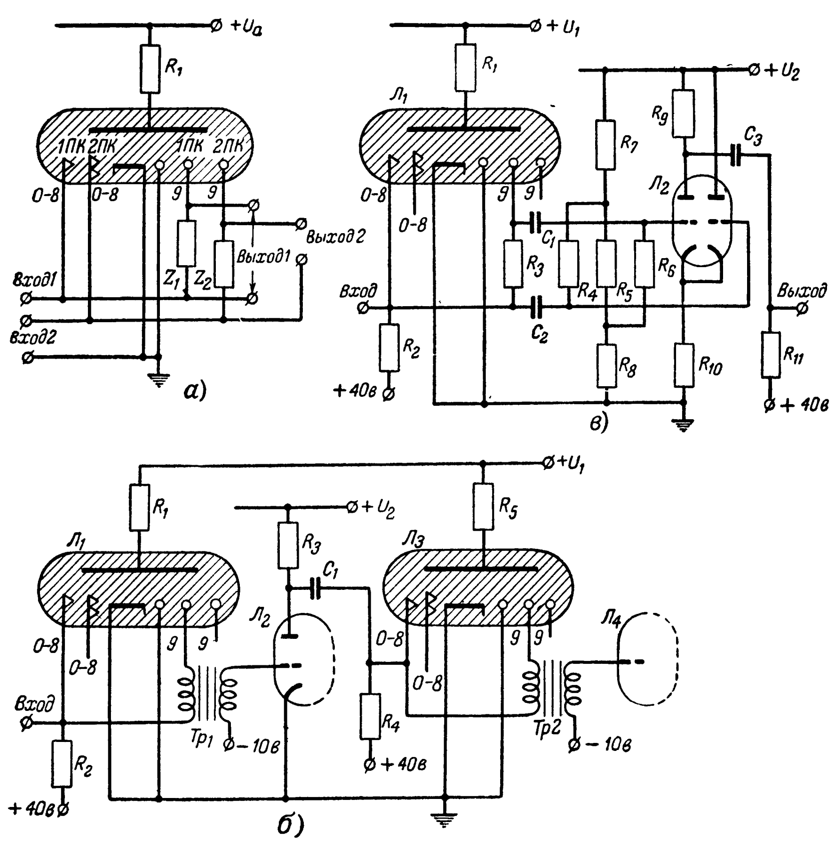


Рис. 9. Схемы управления для реверсивных декатронов, имеющих выводы подкатодов, расположенных между нулевым и девятым индикаторными катодами.

вом управляющем подкатоде, а затем на втором. Обратное движение разряда дает обратную последовательность импульсов на управляющих подкатодах.

Если Z_1 и Z_2 соединить со входами двух управляющих схем, отдельно связанных с кольцами первых и вторых подкатодов следующего декатрона, то порядок возникно-

вения управляющих импульсов на следующем декатроне будет определяться направлением движения разряда в предыдущем декатроне.

Аналогично производится и соединение в цепочку нескольких каскадов.

На рис. 9,*б* представлена схема согласования реверсивных каскадов с помощью трансформаторов. Число витков обмоток трансформатора выбирается с таким расчетом, чтобы импульсы, возникающие в цепи управляющих подкатодов, передавались на сетку управляющей лампы с небольшими искажениями. Поэтому в качестве материала сердечника должен быть использован высокочастотный материал, например оксифер.

При работе с импульсами большой длительности лучшие результаты могут быть достигнуты применением ламповых схем с реостатно-емкостными связями. Входные импульсы для них снимаются с сопротивлений, используемых в качестве нагрузочных элементов Z_1 и Z_2.

На рис. 9,*в* показана одна из таких схем. Режим лампы $Л_2$ подобран так, что если обе ее сетки находятся под одинаковым потенциалом, то ток течет через ее правую половину, а левая ее половина заперта. Управляющие импульсы на первых подкатодах не приводят к изменению режима лампы, если только разряд не устанавливается на девятом штырьке первого подкатода. В последнем случае благодаря возникновению напряжения на сопротивлении R_3 левая половина лампы $Л_2$ начнет проводить, и отрицательный импульс с сопротивления R_9 через конденсатор C_3 поступит на шину первых подкатодов следующего декатрона.

В схемах рис. 9,*б* и *в* управляющие цепи, соединенные со вторыми подкатодами, одинаковы с описанными и поэтому они не показаны.

УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ СИГНАЛЫ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ДАТЧИКОВ

Когда декатронный счетчик работает от какого-либо внешнего датчика, например от электросети, механического контакта, счетчика Гейгера-Мюллера, фотодатчика и т. д., то входной сигнал должен быть соответствующим образом преобразован для управления декатроном. Для этой цели служат специальные формирующие схемы, некоторые из которых показаны на рис. 10.

На рис. 10,*а* представлена схема формирования управляющих импульсов при синусоидальном входном сигнале. Для нормальной работы декатрона необходим сдвиг синусоидальных сигналов по фазе на первом и втором подкатодах около 45°. Сдвиг фазы на втором подкатоде по от-

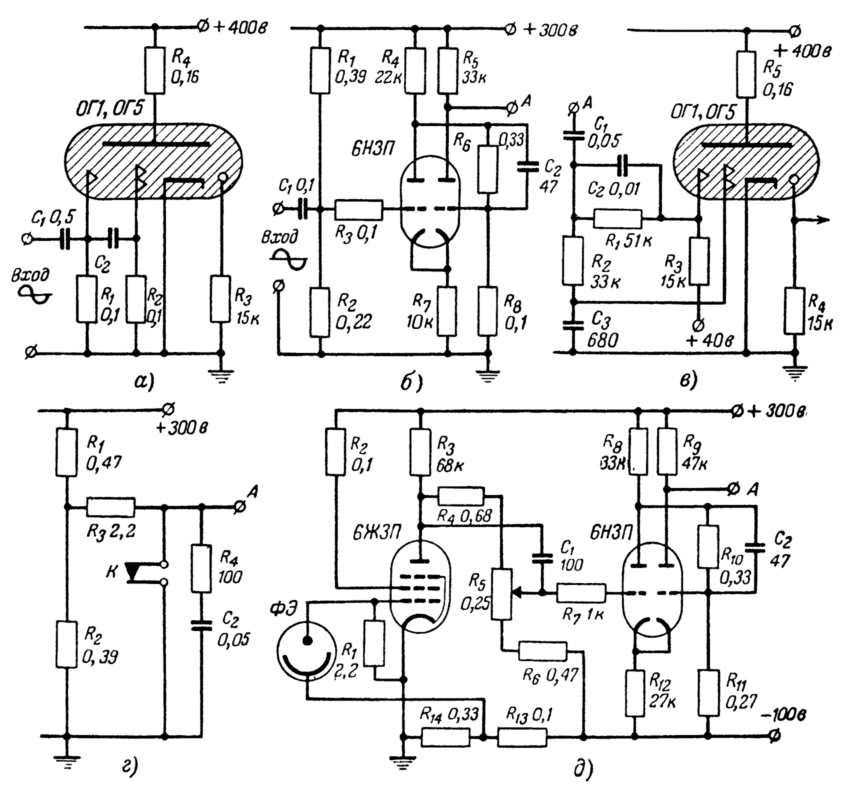


Рис. 10. Схемы формирования управляющих импульсов при использовании различных источников входных сигналов.

ношению к фазе первого производится цепочкой R_2C_2. Следовательно, при изменении входной частоты емкость C_2 фазосдвигающей цепочки R_2C_2 должна изменяться. В табл. 2 приведены данные о необходимой величине емкости C_2 и амплитуды синусоидального сигнала на входе для разных частот.

На рис. 10,*б* показана схема управляющего устройства (работающего от синусоидальной волны), представляюще-

Таблица 2

Частота счета, *гц*	4 000	2 000	1 000	500	200	100	50
Емкость, *пф* . .	700	2 000	5 000	10 000	20 000	50 000	100 000
Амплитуда, *в* . .	20—70	15—80	15—95	15—95	15—95	15—95	15—95

го собой несимметричный триггер. Изменение частоты сигнала не влияет на работу такой схемы.

На рис. 10,*г* представлена схема для счета числа замыканий механического контакта. В промежутке времени между замыканиями контакта К конденсатор C_1 (рис. 10,*в*) заряжается через балластное сопротивление R_3 до напряжения делителя R_1R_2. В момент замыкания контакта потенциал обкладки конденсатора C_1, связанной с контактом, падает до нуля. На такую же величину падает потенциал другой обкладки конденсатора, создавая управляющий импульс для декатрона. Сопротивление R_3 должно быть подобрано таким, чтобы емкость C_1 успела перезарядиться к следующему замыканию контакта. Цепь R_4C_2 схемы служит для искрогашения.

На рис. 10,*д* показана схема, получающая входные сигналы от фотоэлемента *ФЭ*. Входной сигнал, усиленный пентодом 6Ж3П, подается на несимметричный триггер, вырабатывающий управляющий отрицательный импульс. Точка *А* в схемах на рис. 10,*б*, *г* и *д* является выходной и связана с формирующей два сдвинутых во времени отрицательных импульса схемой на рис. 10,*в*.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СБРОС ДЕКАТРОНОВ НА НУЛЬ И ПИТАНИЕ СХЕМ НА ДЕКАТРОНАХ

Чтобы произвести правильный отсчет перед началом работы необходимо установить все разряды декатронного счетчика на нуль, т. е. перевести разряд во всех декатронах на нулевой штырек. Одна из схем для сброса на нуль представлена на рис. 11,*а*. В момент размыкания контакта *К* девять объединенных катодов декатрона приобретают положительный потенциал 100—150 *в* так же, как и оба кольца подкатодов, и разность потенциалов между нулевым катодом и анодом оказывается значительно боль-

шей, чем между анодом и остальными катодами и подкатодами. Следствием этого является установление разряда на нулевом катоде, где он и остается после восстановления замкнутого состояния контакта *К*.

Рассмотренная схема сброса является простейшей и широко применяется там, где время сброса декатронов на

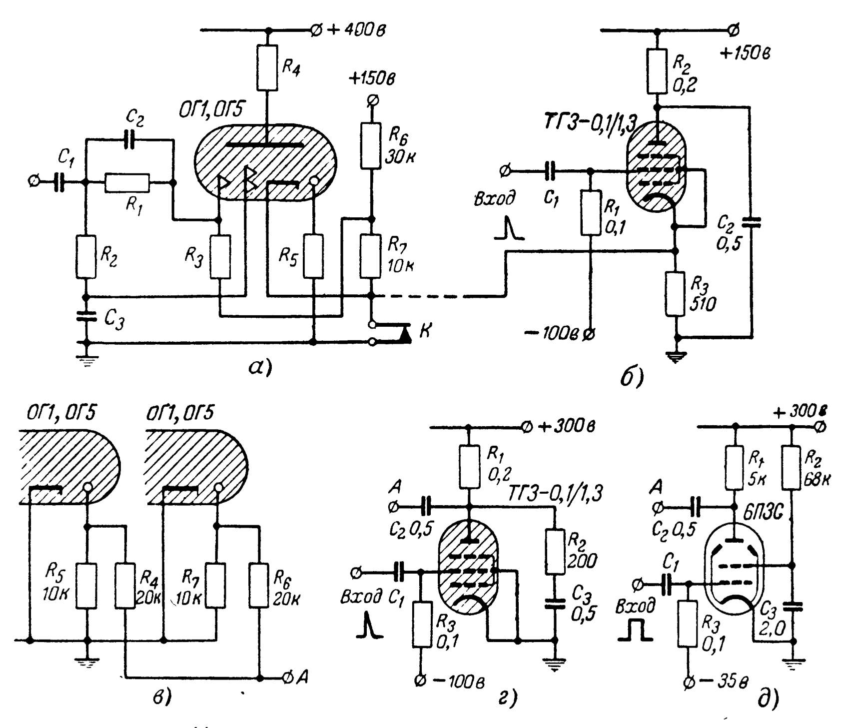


Рис. 11. Схемы сброса показаний декатронов на нуль.
Зажимы *А* в схемах *г* и *д* являются выходными и соединяются с зажимом *А* схемы *в*.

нуль не лимитирует работы схемы в целом. Однако в некоторых случаях, когда необходим подсчет импульсов без потерь на время сброса, необходимо применять более быстрый сброс.

Схема сброса на рис. 11,*б* использует тиратрон с небольшим сопротивлением R_3 в его катодной цепи. Это сопротивление включается в цепь колец катодов и подкатодов декатронов так же, как и нормально замкнутый контакт схемы сброса на рис. 11,*а*. В момент подачи положи-

тельного импульса на сетку тиратрона он зажигается и конденсатор C_2 разряжается на сопротивление R_3 с постоянной времени R_3C_2. Положительный экспоненциальный импульс амплитудой около 150 *в*, возникающий на сопротивлении R_3, поднимает потенциал кольца индикаторных катодов и колец подкатодов, что обусловливает переход разряда на нулевой штырек катода декатрона.

В другой схеме сброса (рис. 11,*в*, *г* и *д*) разряд переводится на тот из индикаторных катодов декатрона, который получает отрицательный потенциал по сравнению с остальными. Уверенный сброс разряда с любого катода на выбранный получается при снижении его потенциала на 100—150 *в*.

В момент подачи на управляющую сетку тиратрона (рис. 11,*г*) положительного импульса тиратрон отпирается и конденсатор C_3 разряжается на сопротивление R_2 с постоянной времени R_2C_3. Отрицательный импульс, возникающий на катодах декатронов, увеличивает разность потенциалов между ними и анодом, что приводит к переходу разряда на выбранный катод. Сопротивления R_4R_6 (рис. 11,*в*) служат для развязки катодов декатронов различных каскадов.

В аналогичной схеме сброса на рис. 11,*д* используется электронная лампа. При подаче на ее сетку сформированного положительного импульса в анодной цепи лампы возникает отрицательный импульс, который с зажима *А* подается на катоды декатронов.

Питание декатронных схем складывается из питания анодных цепей декатронов, питания управляющих ламп и питания цепей смещения декатронов и ламп. В малоламповой схеме целесообразно использовать общий источник напряжения для питания декатронов и управляющих ламп. Напряжение смещения для подкатодов декатронов обычно снимается с делителя напряжения, подсоединенного к источнику питания основной схемы.

В многоламповой схеме имеет смысл разделить питание декатронов и управляющих ламп с целью снижения потребления мощности и создания более легких условий работы ламп. В схеме с раздельным питанием управляющие лампы питаются от источника с напряжением 250—300 *в*, что достаточно для получения с их анодов управляющих импульсов нужной амплитуды. В некоторых случаях для уменьшения колебаний анодного тока декатронов целесообразно стабилизировать анодное питание.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕКАТРОНОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ЗАДАННОГО ЧИСЛА ИМПУЛЬСОВ В ДЕКАТРОННОМ СЧЕТЧИКЕ

При использовании счетчиков часто возникает потребность получить выходной сигнал после поступления на вход заданного числа импульсов. Такие задачи могут иметь место, например, при расфасовке каких-либо изделий или же при отсчете заданных отрезков времени.

О получении декатронным счетчиком заданного числа импульсов можно судить визуально (по положению светящихся катодов декатрона) и электрически (по напряжению в соответствующей катодной цепи коммутаторного декатрона). Последний способ более приемлем в случае, если скорости работы счетчика велики и установка работает без участия человека, т. е. автоматически. Имеется несколько методов получения электрического сигнала с многокаскадной декатронной схемы в момент поступления на ее вход заданного числа импульсов.

На рис. 12 приведена схема трехкаскадного счетчика, использующая так называемую схему совпадений на диодах для регистрации заданного числа входных импульсов. Сигнал на выходе схемы совпадений появляется только в том случае, когда одновременно ко всем диодам будут приложены запирающие напряжения. Пусть диод $Д_1$ подключен к пятому катоду декатрона $Л_1$, считающего единицы, диод $Д_2$ — к третьему катоду декатрона $Л_2$, считающего десятки, и диод $Д_3$ — к девятому катоду декатрона $Л_3$, считающего сотни входных импульсов.

Перед началом работы, когда разряды в декатронах установлены на нулевых катодах, все диоды отперты и напряжение на выходной точке схемы совпадений мало. Когда же разряд в декатроне переносится на катод, к которому подключен диод схемы совпадений, то последний запирается, так как питание схемы совпадений осуществляется от источника напряжением +10 *в*, а напряжение на катодной нагрузке «горящего» катода равно +15 *в*.

Запирание одного или двух диодов схемы совпадений, однако, не вызывает существенного изменения напряжения на ее выходе и только в момент, когда все три диода запираются, на выходе схемы совпадений возникает напряжение +10 *в*, которое может регистрироваться дальнейшими

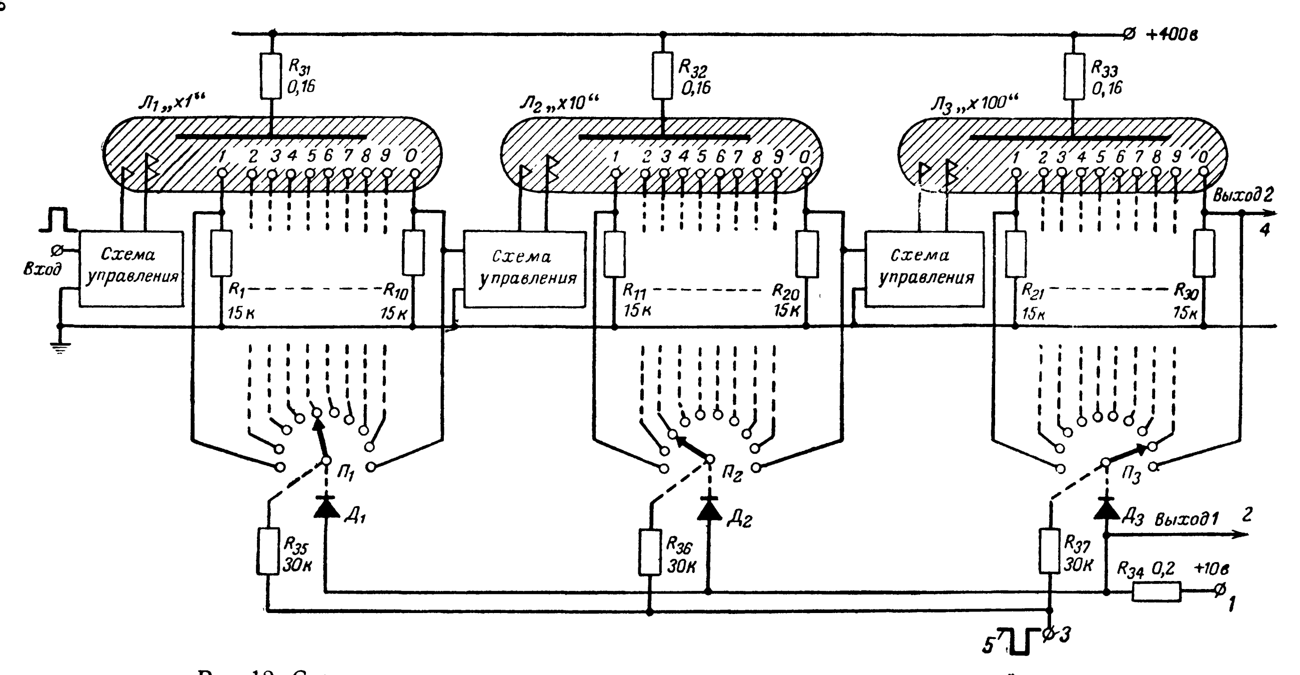


Рис. 12. Схемы регистрации заданного числа импульсов в многокаскадной схеме.

1 — схема совпадений на диодах; *2* — выходная точка схемы совпадений; *3* — схема сброса на дополнительное число; *4* — выходная точка при использовании сброса на дополнительное число; *5* — импульс сброса.

устройствами. В данном примере выходной импульс схемы совпадений возникнет в момент прихода девятьсот тридцать пятого импульса на вход счетчика.

Для удовлетворительной работы схемы диоды должны обладать малым прямым и большим обратным сопротивлением. Следовательно, целесообразно использовать для схем совпадений кремниевые или германиевые диоды, обладающие нужными характеристиками.

Приведенная на рис. 12 схема удобна тем, что она допускает возможность присоединения к счетчику еще одной или нескольких схем совпадений, настроенных на другие числа. Взаимных помех в таком устройстве наблюдаться не будет.

Если необходима настройка только на одно число, то может быть применена схема регистрации заданного числа импульсов, в которой используется сброс счетчика перед началом работы на число, дополнительное к заданному. В десятичной системе счисления под дополнительным понимается число, определяемое выражением $D = 10^n - N$, где D — дополнительное число, n — число цифровых разрядов данного числа, N — данное число. При этом счетчик начнет считать не с нуля, а с дополнительного числа. В момент прихода на вход счетчика последнего импульса заданного числа на нулевом катоде последнего декатрона каскадной схемы возникнет импульс. Если, например, перед началом работы произведен сброс трехкаскадного счетчика на цифру 935, то выходной импульс на нулевом катоде последнего декатрона возникает после прихода на вход шестидесяти пяти импульсов.

Рассмотренные схемы регистрации заданного числа не являются единственными, однако все другие схемы такого же назначения основаны на тех же принципах.

В зависимости от вида требуемого выходного сигнала импульс с регистратора заданного числа должен быть преобразован. При сортировке деталей по партиям, например, требуется после набора нужного числа деталей остановить их поток. Чаще всего это достигается коммутацией контактов в силовой электрической цепи. Для управления исполнительным устройством можно использовать однoламповый усилитель с электромагнитным реле в анодной цепи. Если нужно заставить сработать мощное реле, то к выходу усилительной лампы подсоединяется тиратрон, в анодную цепь которого включается соответствующее реле.

Регистраторы заданного числа легко превращаются в генераторы отрезков времени заданной длительности. Для такого превращения достаточно подавать на вход регистратора импульсы с известной стабилизированной частотой. Тогда установленное на регистраторе с помощью переключателей число импульсов будет соответствовать вполне определенному интервалу времени $T=n/f$, где n — число, установленное на переключателях, а f — частота следования импульсов на входе. Такие схемы чаще всего используются для точного задания временных процессов.

ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

В измерительной практике часто возникает необходимость в делителях частоты. К приборам, использующим делители частоты, относятся схемы стандартов частоты с несколькими частотами на выходе, схемы генерации меток времени для осциллографов и схемы синхронизации на кратных частотах. Как известно, высокостабильные частоты могут быть получены только при использовании кварцевых генераторов, нижний порог частоты которых составляет несколько килогерц, поэтому получение стабилизированных низких частот также невозможно без применения делителей частоты.

Простые делители частоты собираются из декатронных ячеек, как это было описано выше. Такие схемы позволяют получать коэффициенты деления частоты, кратные десяти. Общий коэффициент деления частоты цепочки, составленной из декатронных ячеек, равен 10^n, где n — число ячеек. Однако иногда необходим коэффициент деления, равный какому-либо другому числу. Применение коммутаторного декатрона позволяет получить простыми средствами коэффициенты деления, отличные от десяти. На рис. 13 представлены схемы на декатронах с коэффициентом деления 2 и 5.

Для получения коэффициента деления 2 (рис. 13,*а*) катодное сопротивление R_3 делается общим для катодов 0, 2, 4, 6 и 8. При этом ток разряда будет проходить через сопротивление R_3 после прихода второго, четвертого, шестого, восьмого, десятого, двенадцатого и т. д. входных импульсов, что соответствует делению входной частоты на два.

Для деления частоты на пять (рис. 13,*б*) выходное сопротивление R_3 декатрона делается общим для катодов 0 и 5. Ток через сопротивление R_3 в этом случае будет проходить после поступления на вход схемы первого, пятого,

десятого, пятнадцатого и т. д. импульсов, следовательно, напряжение на сопротивление R_3 будет иметь частоту, в пять раз более низкую, нежели входная.

С помощью коммутаторного декатрона можно получить не только коэффициенты деления 10, 5 и 2, но и некоторые другие. Коэффициент деления, равный, например, 3/10, получается при включении общей нагрузки в цепь катодов 0,

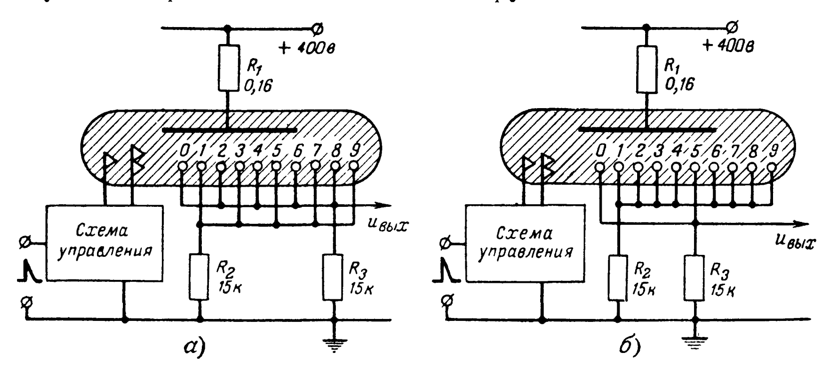


Рис. 13. Схемы деления частоты на 2 и 5 с помощью коммутаторного декатрона.

3 и 6, а коэффициент деления 4/10—при включении ее в цепи катодов 0, 2, 5 и 7. Понятно, что интервалы времени между выходными импульсами в двух последних случаях не будут равными (в случае равномерной последовательности импульсов на входе), но часто это и не требуется. Еще большее число значений коэффициентов деления можно получить при использовании коммутаторного декатрона с числом индикаторных катодов, не равным 10. Известны, например, коммутаторные декатроны с двенадцатью катодами, дающие коэффициенты деления 3, 4, 6, 12 и т. д.

ГЕНЕРАТОР СЕТКИ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

При использовании электронных и шлейфовых осциллографов часто возникает необходимость в получении сетки времени для точного определения временных параметров процессов. Если длительные процессы должны измеряться с большой точностью, то масштабная сетка временных отметок должна иметь несколько значений.

На рис. 14 приведена одна из схем, предназначенных для работы со шлейфовым осциллографом. Задающий генератор с кварцевой стабилизацией, собранный на левом

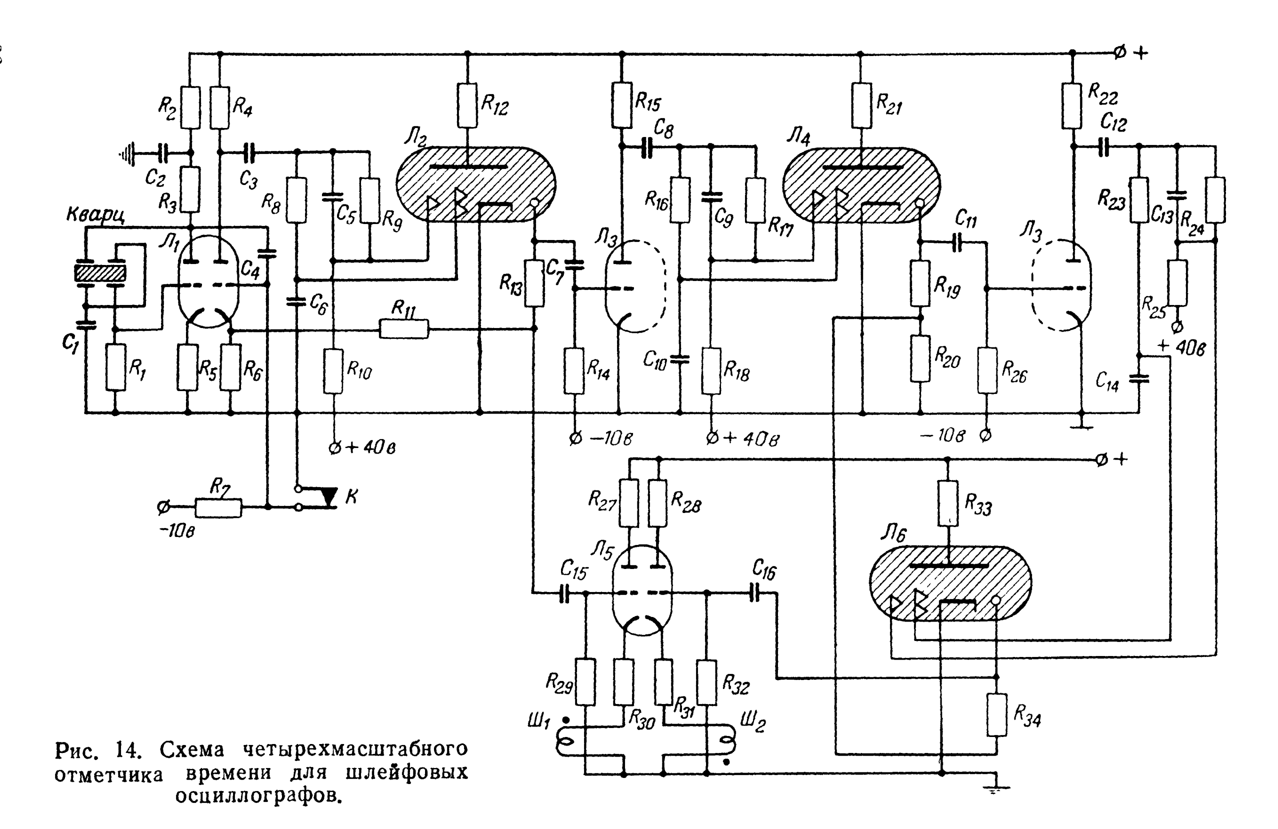


Рис. 14. Схема четырехмасштабного отметчика времени для шлейфовых осциллографов.

(по схеме) триоде лампы $Л_1$, работает на частоте 1 *кгц* Второй триод этой лампы используется в качестве формирователя входных импульсов для управляющей схемы декатрона.

В качестве делителя частоты применена трехкаскадная схема на декатронах, генерирующая выходные импульсы с частотами 100, 10 и 1 *гц*.

Декадные ячейки собраны по схеме с реостатно- емкостной связью. В цепь катодов декатрона $Л_2$ и лампы $Л_1$ последовательно включены небольшие сопротивления R_{11} и R_6. Генерируемое на выходной точке этих сопротивлений напряжение подается на сетку левого (по схеме) триода лампы $Л_5$ усилителя, в выходную цепь которого включен шлейф-отметчик осциллографа. Напряжение на сетке этого триода будет иметь вид последовательности импульсов с частотой 1 000 *гц*, каждый десятый из которых имеет повышенную амплитуду. Увеличение амплитуды десятого импульса обусловлено возникновением разряда на нулевом катоде декатрона $Л_2$, приводящим к повышению напряжения на цепочке R_6R_{11}.

Для создания меток частоты 10 и 1 *гц* используется выходное напряжение декатронов $Л_4$ и $Л_6$, подаваемое с последовательно включенных сопротивлений R_{20} и R_{34} через разделительный конденсатор C_{16} на сетку правого триода лампы $Л_5$. Напряжение здесь имеет вид последовательности импульсов с частотой 10 *гц*, причем каждый десятый из них (секундный) имеет повышенную амплитуду.

Изменение тока, обусловленное положительными импульсами на сетках лампы $Л_5$, создает в шлейфах импульсы тока разного направления. Благодаря этому масштабная временная сетка на экране или пленке шлейфового осциллографа имеет удобный вид. Отметки времени 0,001 и 0,01 *сек* представляют собой положительные, а отметки 0,1 и 1 *сек* отрицательные импульсы.

Для правильной ориентировки во времени перед началом осциллографирования декатроны устанавливаются на нуль. В момент начала осциллографируемого процесса контакт K размыкается и на сетку управляющей лампы $Л_1$ начинают поступать входные импульсы с частотой 1 000 *гц*.

Описанная схема при добавлении декатронных делителей частоты может быть использована для получения более низкочастотных меток времени. Без существенных изменений эта же схема приспосабливается для работы с электронным осциллографом.

СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ И ПРИВОД СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Несколько отличны требования к делителям частоты, используемым для привода низкочастотных синхронных электродвигателей, или в некоторых стандартах частоты, где выходное напряжение должно быть близким к синусоидальному.

Из узких выходных импульсов декатрона, имеющих скважность порядка 10, затруднительно выделить гармонику основной частоты. Поэтому если на выходе необходимо

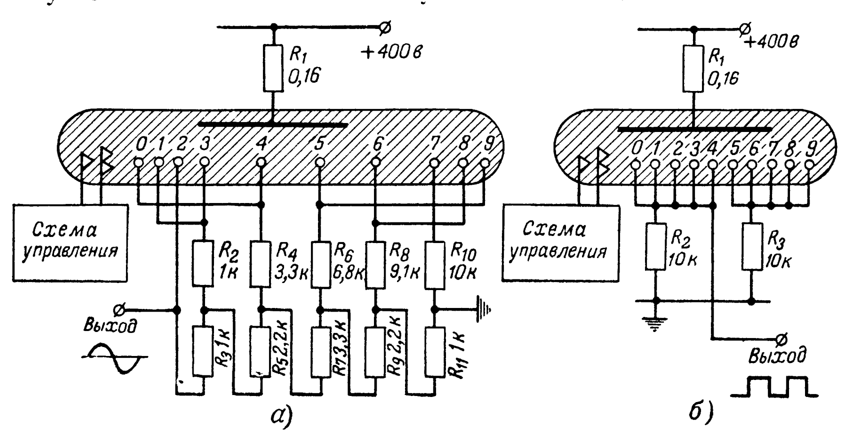


Рис. 15. Схемы включения катодной нагрузки декатрона.
а — для придания выходным колебаниям синусоидального вида; *б* — для получения на выходе прямоугольных колебаний.

иметь синусоидальное напряжение, то можно в качестве выходного устройства использовать мультивибратор, синхронизируемый декатроном, или триггер с двумя устойчивыми положениями, также запускаемый декатроном.

В качестве выходного устройства может быть использован и коммутаторный декатрон с сопротивлениями в катодных цепях по схеме рис. 15,*а*. Ступенчатое напряжение, снимаемое с выходной точки схемы, близко по форме к синусоидальному и может быть использовано без дальнейших формирующих устройств. Для сглаживания выходного напряжения к выходной точке подключается конденсатор.

В используемых для подобных целей делителях частоты, так же как и в стандартах частоты, по понятным причинам нет необходимости применять сброс на нуль перед началом работы.

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ ИМПУЛЬСОВ

Любой декатронный счетчик может быть использован для измерения отрезков времени. Последний может задаваться замкнутым состоянием механического контакта, открытым состоянием электронной лампы и т. д. Если контакт или электронная лампа установлены между счетчиком и источником импульсов со стабилизированной частотой, то импульсы смогут проходить в счетчик только в промежуток времени, соответствующий проводящему состоянию используемого элемента. Следовательно, по числу зафиксированных в счетчике импульсов можно будет судить об измеряемом интервале времени. Разрешающая способность такого счетчика определится подаваемой на его вход частотой. Например, для частоты 10 000 *гц* минимальное измеренное время не может быть меньше 0,0001 *сек*.

Задача программного управления положением инструмента, скоростью вращения электродвигателя и т. д. состоит, как правило, в сравнении фактической скорости или положения с заданными. Рассогласование обеих величин преобразуется сравнивающим устройством в управляющий сигнал, который воздействует на органы регулирования управляемого объекта. Если программа и сигнал о состоянии управляемого объекта представляют собой последовательность электрических импульсов, распределенных во времени, то в качестве сравнивающего устройства используются реверсивные электронные счетчики.

Ниже описана схема реверсивного счетчика на декатроне, сравнивающая две непрерывные последовательности импульсов одновременно (рис. 16). Ее выходной сигнал пропорционален рассогласованию между последовательностями импульсов. Сравнивающее устройство состоит из двух управляющих устройств на лампах $Л_1$ и $Л_2$ и двухимпульсного реверсивного декатрона $Л_3$. Выходные точки обоих управляющих устройств подключены к кольцам подкатодов через диоды $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ и $Д_4$.

Из схемы на рис. 16 видно, что при подаче входных импульсов только на *Вход 1* разрядное свечение в декатроне будет перемещаться в одну сторону, например по часовой стрелке. Подача входных импульсов только на *Вход 2* будет вызывать перемещение разрядного свечения в противоположном направлении. В случае одновременной подачи управляющих импульсов от разных источников на оба входа направление и скорость перемещения разрядного свечения будут зависеть от соотношения частот обоих источни-

ков. Условием правильной работы декатрона в таком режиме является идентичность пассивных формирующих цепей R_3R_4 с R_7R_8 и R_5C_3 с R_6C_4, а также одинаковая длительность и амплитуда импульсов на входах.

Для понимания процессов переноса разряда при работе декатрона от двух управляющих схем рассмотрим три возможных случая.

1. Частота следования импульсов на обоих входах одинакова, но они смещены друг относительно друга на время,

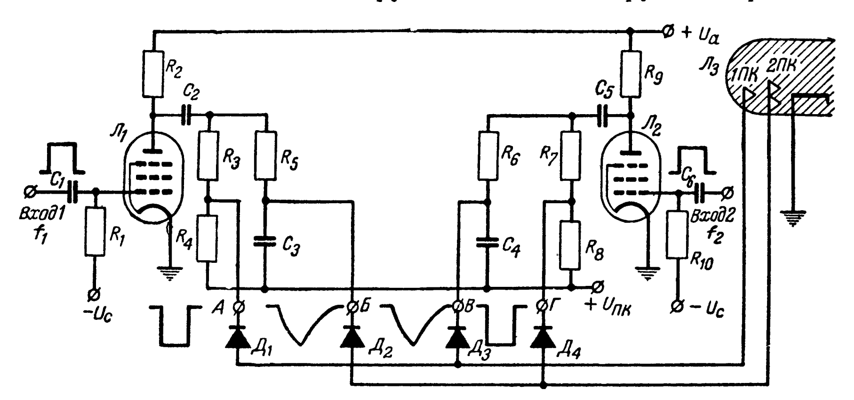


Рис. 16. Схема одновременного реверсивного счета двух последовательностей импульсов.

большее чем суммарная длительность управляющих импульсов.

В этом режиме каждый импульс на *Входе 1* вызывает перенос разряда в одном направлении, а следующий за ним по времени импульс на *Входе 2* вызывает обратный перенос разряда. Таким образом, разрядное свечение сохраняет свое положение, что соответствует равенству входных частот.

2. Частота следования импульсов на обоих входах одинакова и импульсы появляются на них одновременно.

Управляющие импульсы появляются на обоих кольцах подкатодов одновременно, что вызывает переход разряда на один из подкатодов, расположенных справа и слева от светящегося индикаторного катода, или на оба подкатода одновременно. После окончания импульсов, сформированных активными цепями R_3R_4 и R_7R_8, на кольцах одновременно возникают импульсы, сформированные интегрирующими цепями R_5C_3 и R_6C_4. Потенциалы колец при этом про-

должают оставаться одинаковыми, так что никакого нового перехода разряда не происходит. После окончания управляющих импульсов на интегрирующих цепях разряд переходит на индикаторный катод, ближайший к светящемуся, т. е. на исходный. И в этом случае разрядное свечение сохраняет свое положение, соответствующее равенству входных частот.

3. Входной импульс на *Входе 2* появляется позже, нежели на *Входе 1*, но в момент, когда на *Входе 1* импульс еще не кончился.

Вначале разряд переносится на подкатод кольца *1ПК*. После окончания прямоугольного импульса на кольце *1ПК* его потенциал не возвращается к исходному, а становится равным потенциалу интегрированного импульса, поступающего из цепи R_6C_4. Если все же разряд перейдет на подкатод кольца *2ПК* вследствие того, что на нем в это время поддерживается потенциал прямоугольного импульса цепи R_7R_8, то после его окончания разряд вернется на светившийся ранее подкатод кольца *1ПК*. После окончания управляющих импульсов разряд установится на исходном катоде.

Было подтверждено экспериментально, что даже при очень небольшом различии входных частот декатрон работает без ошибок при условии, что импульсы обоих управляющих схем идентичны.

Нужно отметить, что та же схема может с успехом осуществлять не только вычитание, но и сложение двух последовательностей импульсов при соответствующем переключении отводов *А*, *Б*, *В* и *Г* управляющих схем на лампах $Л_1$ и $Л_2$. В этом случае, правда, одновременное появление импульсов на двух входах приводит к передвижению разряда только на следующий катод. Для обхода этой трудности необходимо вводить задержку между входными импульсами.

При управлении каким-либо объектом программная последовательность импульсов подается на *Вход 1*, а последовательность импульсов, соответствующая фактическому состоянию объекта, на *Вход 2* (или наоборот). Выходной сигнал, воздействующий на органы регулирования объекта, снимается с катодной нагрузки декатрона $Л_3$ и может иметь два вида. В первом случае при рассогласовании входных последовательностей импульсов разряд покидает нулевой катод и устанавливается на катоде *1* или *9* декатрона, в зависимости от знака рассогласования. Сигнал для регулятора объекта определяется в такой схеме только на-

правлением перехода разряда. Во втором случае выходной сигнал сравнивающего устройства зависит не только от знака рассогласования, но и от его величины.

На рис. 17 изображена схема сравнения, напряжение на выходной точке которой зависит от положения разряда в декатроне. Оно наибольшее, когда разряд устанавливается на катоде *9*, и уменьшается при переходе разряда на катоды *8*, *7* и последующие катоды.

Описанная декатронная схема реверсивного счета может быть использована для генерации высокостабильных

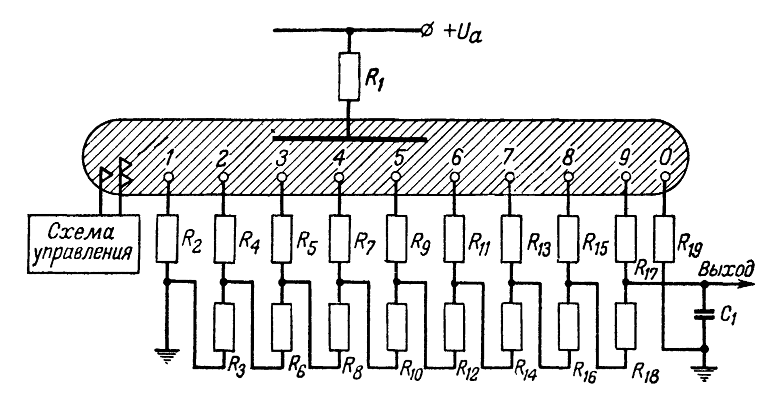


Рис. 17. Схема для регистрации величины рассогласования.

низкочастотных колебаний с частотой $F=(f_1-f_2)/10$, где f_1 и f_2—входные частоты. Так, например, для получения диапазона частот 48—52 *гц* для контроля промышленной сети можно воспользоваться кварцевым генератором с частотой на 5 350 *гц* (f_1) и высокостабильным (0,25%) *RC* генератором с диапазоном частот 150—550 *гц* (f_2). Полученные на выходе реверсивного каскада импульсы с частотой 520—480 *гц* делятся еще одним декатронным каскадом. Выходные колебания декады имеют диапазон частот 52—48 *гц* при стабильности около 0,025%. Придание выходным колебаниям декады синусоидальной или прямоугольной формы производится с помощью включения сопротивлений соответствующей величины в цепь катодов оконечного декатрона (рис. 15). Так как колебания на выходе декатрона имеют ступенчатый вид, для сглаживания кривой целесообразно подключить к выходу конденсатор емкостью порядка 0,05 *мкф*.

ГЕНЕРАТОР ТОЧНОЙ СТУПЕНЧАТОЙ ИЗМЕНЯЕМОЙ ЧАСТОТЫ

Описываемое ниже устройство дает возможность получать колебания звуковой и инфразвуковой частоты при сохранении в любой точке всего диапазона частот высокой стабильности генерируемых колебаний.

На рис. 18 приведена часть схемы этого устройства. Генератор собран на пяти каскадах коммутаторных декатронов, соединенных последовательно. На первый каскад цепочки подаются импульсы с частотой 10 000 *гц* от кварцевого генератора. Для исключения потерь времени при передаче импульсов в последующие каскады выходные импульсы снимаются с девятых индикаторных катодов декатронов. Они дифференцируются (цепочка C_1R_5) и отрицательный всплеск продифференцированного импульса подается на несимметричный триггер с лампой $Л_2$, генерирующий импульс длительностью около 50 *мксек.* Импульс подается через формирующие цепи на подкатоды следующего декатрона. Для получения максимальной скорости работы управляющая схема первого декатрона собрана на двух несимметричных триггерах, запускаемых последовательно.

Выходной импульс последнего декатрона, возникающий при переходе разряда с девятого катода на нулевой, соответствует переходу всего декатронного счетчика с числа 99 999 на 00 000. Этот импульс поступает на вход электронной схемы, сбрасывающей разряды в декатронах на выбранные катоды.

Схема генератора сбрасывающего импульса собрана на лампах $Л_4$, $Л_5$ и $Л_6$. Отрицательный всплеск продифференцированного выходного импульса декатрона $Л_3$ усиливается, переворачивается по фазе и передается на катодный повторитель, собранный на правом (по схеме) триоде лампы $Л_4$. Усиленные по мощности импульсы подаются на триггер с лампой $Л_6$, который вырабатывает прямоугольный импульс длительностью порядка 60—80 *мксек.* Импульс триггера подводится к сетке нормально запертого лучевого тетрода $Л_5$, который усиливает его по мощности. С тетрода импульс сброса, имеющий амплитуду около 250 *в*, подводится через развязывающие сопротивления (R_{42}, R_{43} и т. д.) к выбранным с помощью щеточных переключателей ($П_1$, $П_2$ и т. д.) катодам пяти декатронов.

Длительность импульса сброса выбирается достаточно короткой, чтобы сброшенная схема могла быть готовой для подсчета входного импульса, следующего вслед за им-

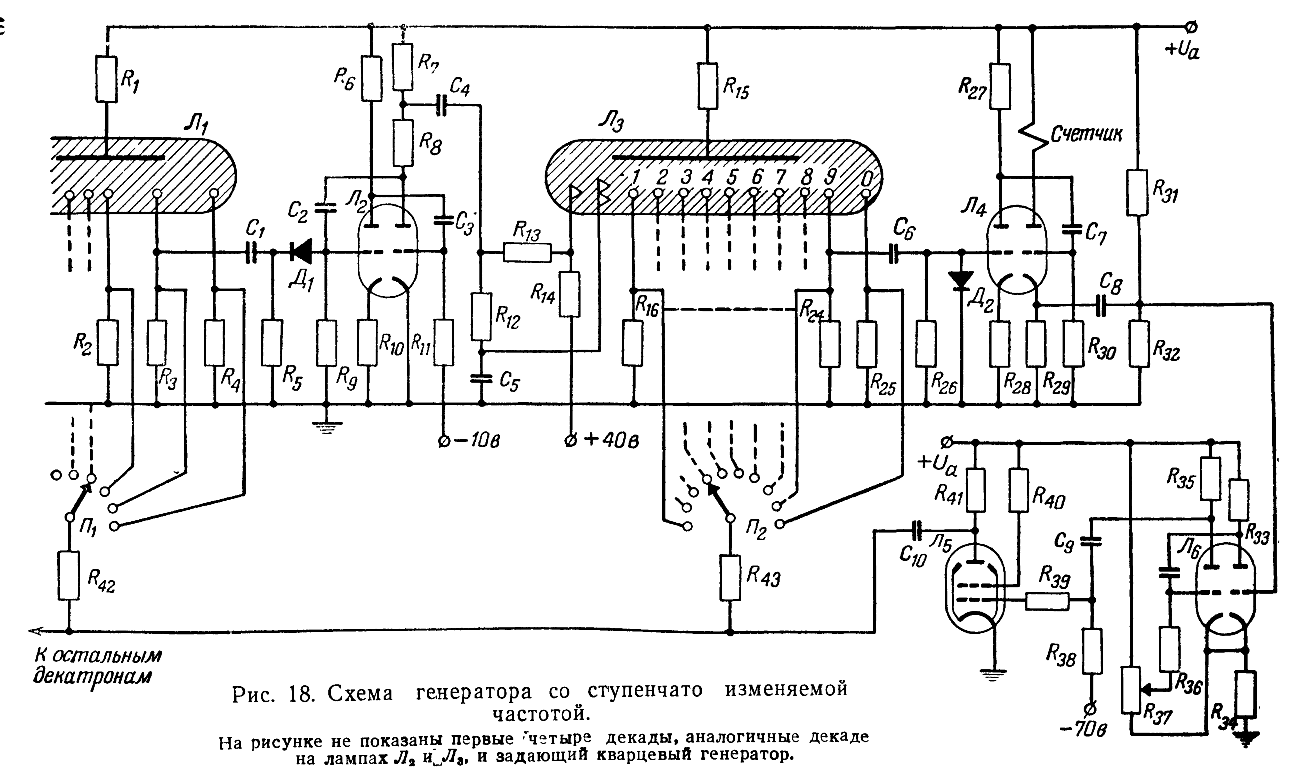


Рис. 18. Схема генератора со ступенчато изменяемой частотой.

На рисунке не показаны первые четыре декады, аналогичные декаде на лампах $Л_2$ и $Л_3$, и задающий кварцевый генератор.

пульсом, вызвавшим сброс, и достаточно большой для установления разряда на выбранный катод. Если, например, переключатели установлены на число 99 877, то каждый раз после поступления на вход 123 импульсов происходит сброс, и схема считает следующую серию из 123 импульсов. В случае подачи на вход импульсов со стабильной частотой выходные импульсы устройства, получаемые, например, с катодного повторителя на лампе $Л_4$, будут иметь частоту $F=f_c/(10\,000-n)$, где f_c —стабильная частота, а n— любое целое число, устанавливаемое переключателями. На этом основано получение ступенчато изменяемой точной частоты.

Из формулы $F=f_c/(10\,000-n)$ видно, что густота дискретных частотных точек выше при малых значениях n и ниже при значениях n, близких к 10 000. Поэтому более выгодно использовать генератор для работы на низких частотах.

Рассмотренная схема может быть использована для подсчета серий импульсов. С этой целью в анодную цепь лампы катодного повторителя включается электромеханический счетчик, который подсчитывает число серий импульсов с количеством импульсов в серии, заданным в счетчике. На вход счетчика подводятся импульсы, подлежащие счету. Частота их следования не должна превышать скорости работы первого декатрона.

ДЕКАТРОННЫЙ ЧАСТОТОМЕР-ФАЗОМЕТР

Повышение требований к точности частотомеров и фазометров привело в последнее время к созданию приборов, основанных на счете импульсов. Однако цифровые частотомеры и фазометры, построенные на вакуумных лампах, довольно сложны и громоздки. Поэтому там, где измеряемые частоты не превосходят нескольких килогерц или где измеряется разность фаз между двумя колебаниями низкой частоты, использование декатронов приводит к резкому упрощению аппаратуры. На рис. 19 представлена блок-схема частотомера-фазометра на декатронах, а на рис. 20 — схема его управляющего устройства.

В частотомере-фазометре, как это видно из блок-схемы, используется пятикаскадный счетчик на счетных декатронах, пятикаскадный регистратор заданного числа, аналогичный по схеме устройству на рис. 18 (без блока сброса), управляющее устройство, усилители постоянного тока и кварцевый генератор с частотой 10 000 *гц*.

С помощью декатронного частотомера-фазометра, собранного по указанной на рис. 19 схеме, можно производить следующие измерения:

1. Определять разность фаз двух низкочастотных напряжений. Для этого первое исследуемое напряжение подключается на *Вход 1*, а второе—на *Вход 2* (рис. 19). Первое исследуемое напряжение усиливается усилителем *1* и поступает в управляющее устройство *3*, которое в момент прохождения фазы колебания через нуль подключает кварцевый генератор *4* к счетчику импульсов *6*. В момент про-

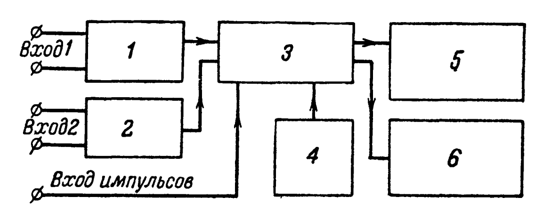


Рис. 19. Блок-схема низкочастотного частотомера-фазометра.

1 — усилитель постоянного тока первого канала; *2* — усилитель постоянного тока второго канала; *3* — управляющее устройство; *4* — кварцевый генератор; *5* — пятикаскадный декатронный регистратор заданного числа; *6* — пятикаскадный декатронный счетчик импульсов.

хождения через нуль фазы второго колебания, усиленного усилителем *2*, управляющее устройство отключает кварцевый генератор от счетчика. Таким образом, по числу импульсов, зафиксированных счетчиком, можно определить разность фаз.

2. Измерять период низкочастотных колебаний. При этом оба входа соединяются параллельно. Управляющее устройство подключает кварцевый генератор к счетчику в момент прохождения фазы колебания через нуль и отключает в момент прохождения фазы через 360°.

3. Измерять отрезок времени между двумя электрическими импульсами (подаются на *Вход импульсов*). Управляющее устройство подключает кварцевый генератор к счетчику в момент прихода первого импульса и отключает в момент прихода второго импульса.

4. Измерять период низкочастотных колебаний с повышенной точностью, используя регистратор заданного числа. Управляющее устройство при этих измерениях подключает кварцевый генератор к счетчику в момент прохождения фазы низкочастотного колебания через нуль и отключает ге-

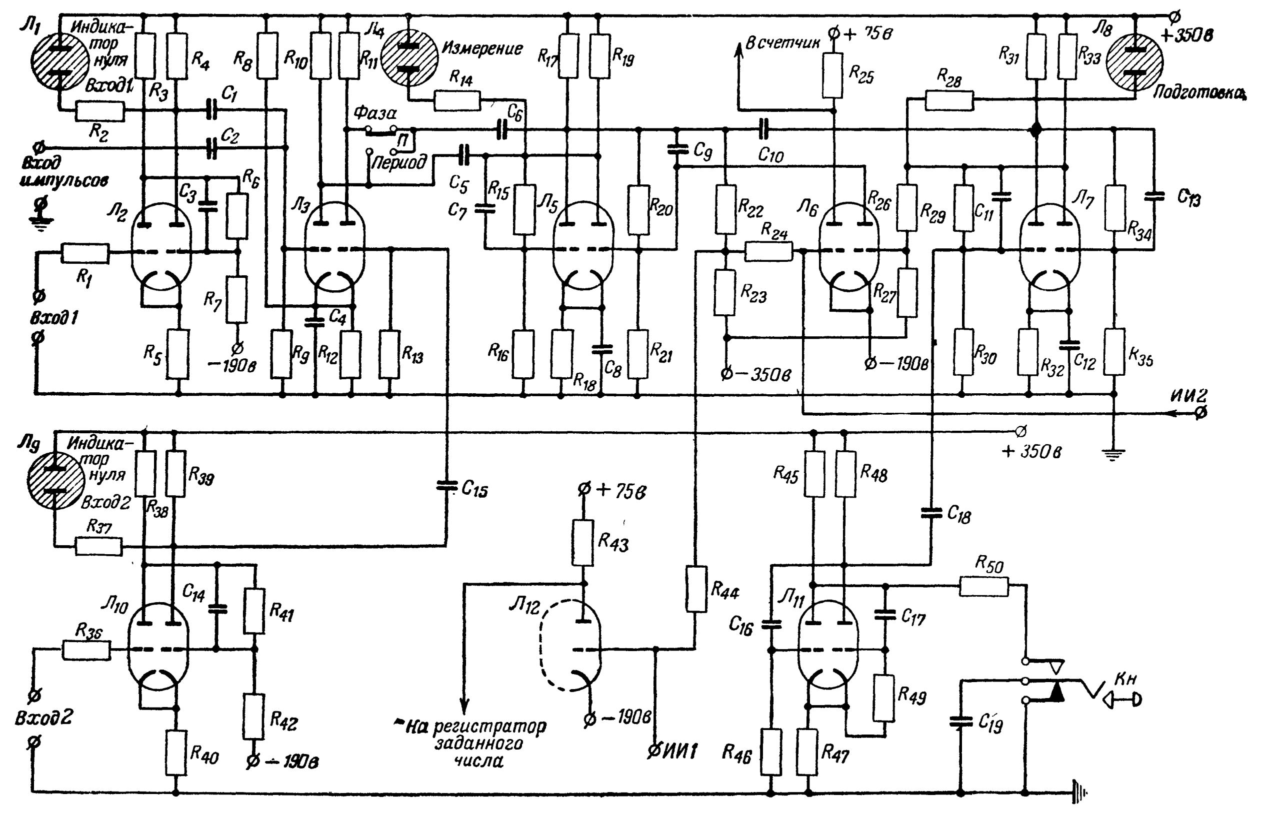


Рис. 20. Схема управляющего устройства низкочастотного частотомера-фазометра.

нератор после регистрации заданного числа периодов измеряемых колебаний. Увеличение точности достигается за счет увеличения интервала измерений.

Эта же комбинация дает возможность измерять период достаточно высокочастотных колебаний (до 10 *кгц*), подавая на вход счетчика импульсы исследуемой частоты, а на вход регистратора заданного числа частоту 10 *кгц*. Тогда число импульсов за период времени, задаваемый регистратором, позволяет судить об исследуемых высокочастотных колебаниях.

Работа управляющего устройства (рис. 20) протекает следующим образом.

До нажатия кнопки *Кн* (измерение) блок находится в исходном состоянии. Левый (по схеме) триод лампы $Л_5$ в первом симметричном триггере при этом открыт, а правый закрыт. Неоновая лампа $Л_4$ не горит. Во втором симметричном триггере левый триод лампы $Л_7$ тоже открыт, а правый закрыт. Правый триод лампы $Л_6$ в это время открыт и, шунтируя своим малым внутренним сопротивлением сопротивление R_{21} в сеточной цепи правой половины первого триггера, делает последний нечувствительным к импульсам, поступающим с обоих каналов (*Вход 1* и *Вход 2*). Пусковая схема с лампой $Л_{11}$, представляющая собой несимметричный триггер, находится в состоянии устойчивого равновесия; правый триод этой лампы открыт, а левый закрыт.

Конденсатор C_{19} полностью разряжен и замкнут накоротко кнопкой пуска *Кн*.

При нажатии кнопки *Кн* по цепи $R_{45}R_{50}C_{19}$ проходит ток заряда конденсатора C_{19}. Импульс напряжения на сопротивлении R_{45} запускает триггер на лампе $Л_{11}$. Задний фронт импульса на аноде правого триода лампы $Л_{11}$ переводит второй триггер в новое состояние равновесия. В результате этого правый триод лампы $Л_6$ запирается, и первый триггер становится чувствительным к импульсам первого канала (но продолжает оставаться нечувствительным к импульсам второго канала). Теперь блок отсечки временного интервала ($Л_5$) подготовлен к работе, о чем сигнализирует свечение неоновой лампы $Л_8$ (*Подготовка*), загорающейся при «опрокидывании» второго триггера.

В случае измерения разности фаз на входы первого и второго каналов прибора подаются два синусоидальных колебания с некоторым фазовым сдвигом между ними. Амплитуды напряжений могут быть различными Усиленное

усилителем постоянного тока *1* (рис. 19) напряжение первого канала подается на индикатор нуля, представляющий собой несимметричный триггер, собранный на лампе $Л_2$. Усилитель настраивается таким образом, чтобы при переходе входного напряжения через нуль напряжение на выходе становилось равным напряжению срабатывания несимметричного триггера. При срабатывании последнего загорается неоновая лампа $Л_1$ (индикатор нуля *Вход 1*).

Напряжение, получаемое на аноде правого триода триггера, дифференцируется с помощью цепочки C_1R_9 и подается на сетку лампы усилителя импульсов первого канала (левый триод нормально запертой лампы $Л_3$). Положительные импульсы усиливаются и подаются через конденсатор C_5 на блок отсечки временного интервала (лампа $Л_5$).

Работа второго канала (лампа $Л_{10}$ и правый триод лампы $Л_3$) происходит точно так же, как и первого канала. При положении *Фаза* переключателя *П* импульсы с правого триода лампы $Л_3$ через конденсатор C_6 попадают в блок отсечки времени.

Блок отсечки временного интервала работает следующим образом. От первого импульса первого канала триггер на лампе $Л_5$ опрокидывается, в результате чего открывается левый триод лампы $Л_6$ и на счетчик от источника импульсов *ИИ2* начинают поступать импульсы. В это же время загорается неоновая лампа $Л_4$ (*Измерение*).

Пока первый триггер находится в опрокинутом состоянии, он чувствителен к импульсам, поступающим из второго канала, и не чувствителен к импульсам — из первого. Поэтому он возвращается в исходное состояние, когда через время Δt приходит импульс из второго канала, при этом запирается левый триод лампы $Л_6$, гаснет неоновая лампа $Л_4$ и импульсы перестают поступать в счетчик. Через конденсатор C_{10} на второй триггер подается отрицательный импульс, возвращающий его в исходное состояние. Правый триод лампы $Л_6$ открывается и, шунтируя первый триггер, делает его нечувствительным к импульсам от первого и второго каналов. Управляющее устройство приходит в исходное состояние.

При измерении периода низкочастотных колебаний конденсатор C_6 подсоединяется переключателем *П* к аноду левого триода лампы $Л_3$. Тогда два последовательные импульса, поступающие на конденсаторы C_5 и C_6 из одной точки схемы, будут соответствовать прохождению фазы исследуемого колебания через 0 и 360°. Количество импуль-

сов с частотой 10 000 *гц* в счетчике за этот интервал определит длительность периода колебания.

Использование регистратора заданного числа позволяет добиться большой точности при измерении частот ниже 500 *гц*. Так, например, для точного измерения частоты 50 *гц* нужно настроить счетчик серий на 500 циклов, а исследуемое напряжение с частотой 50 *гц* подвести ко входу первого канала *Вход 1* и к зажиму *ИИ1*, связанному через триод $Л_{12}$ с регистратором. Ко второму каналу *Вход 2* нужно подвести выходной импульс регистратора. После начала измерения в момент прихода первого импульса 50 *гц* счетчик начинает считать импульсы 10 *кгц*, подводимые к зажиму *ИИ2*, а регистратор — импульсы исследуемой частоты.

После прохождения 500 импульсов в регистратор, последний подает сигнал на вход второго канала управляющего устройства и прекращает счет Длительность измерения составляет 10 *сек*, что позволяет повысить его точность до $1 \cdot 10^{-5}$.

Неточность частоты 50 *гц* определяется по числу импульсов, на которое отличается цифра в счетчике от 100 000. Так же просто определяется, например, погрешность частоты 48 *гц*. Для этого нужно установить регистратор на цифру 480. Тогда погрешность опять может измеряться по отклонению цифры счетчика от 100 000.

Возможны некоторые другие полезные применения описанного прибора. Так, например, можно измерять интервал времени между двумя импульсами, подавая их на зажимы *Вход импульсов*.

Прибор с успехом может быть использован при счете импульсов ионизирующего излучения в ядерной технике, когда необходимо измерение числа импульсов за данный интервал времени или определение интервала времени, за который на вход счетчика поступает заданное число импульсов.

В первом случае импульсы, обнаруженные счетчиком Гейгера — Мюллера или сцинтилляционным счетчиком и сформированные последующей схемой, подаются через зажим *ИИ2* в счетчик прибора. Тогда регистратор заданного числа, считающий импульсы со стабильной частотой (зажим *ИИ1*), используется для задания времени отсчета.

Во втором случае сформированные импульсы ионизирующего излучения подводятся ко входу первого канала управляющего устройства и через триод $Л_{12}$ (зажим *ИИ1*) — на вход регистратора, установленного на заданное

число. Выход регистратора подсоединяется к зажиму *Вход 2*. К счетчику подводятся импульсы известной частоты. По количеству импульсов в счетчике можно определить интервал времени, за который прошла серия импульсов излучения с заданным числом.

ТАХОМЕТРЫ

Применение цифровой счетной техники позволяет получить любые, наперед заданные точности измерения и отсчета, которые недостижимы при использовании тахогенераторов и стробоскопических тахометров.

Ниже приведено описание одного из тахометров с использованием декатронов. С помощью такого тахометра можно изучать турбины, работающие со скоростью до 20 000 *об/мин* при точности отсчета ±1 *об/мин*. Тахометр автоматически возобновляет замер скорости каждые 3 *сек*, причем результаты всех измерений могут считываться визуально и фотографироваться с помощью автоматических устройств. Измерение скорости турбины производится за интервал в 1 *сек* и сброс показаний счетчика за 0,2 *сек* до нового замера.

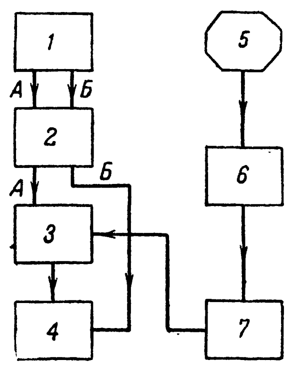


Рис. 21. Блок-схема цифрового тахометра.

1 — датчик секундных импульсов; *2* — управляющее устройство; *3* — ключевая схема (электронный клапан); *4* — счетчик импульсов на декатронах; *5* — турбина; *6* — трехфазный генератор; *7* — синхронный электродвигатель с диском и усилитель импульсов фотодиода

На рис. 21 представлена блок-схема тахометра. Питаемый от турбины *5* трехфазный генератор *6* приводит в движение синхронный электродвигатель *7*, установленный в измерительном приборе. На оси электродвигателя закреплен диск с 60 щелями, который освещается лампой накаливания. Германиевый фотодиод, помещенный за диском, генерирует 60 электрических импульсов за каждый оборот диска. После усиления эти импульсы поступают на ключевую схему и через нее в счетчик. Ключевая схема *3* пропускает или запирает поток импульсов, генерируемых фотодиодом, в зависимости от поданных на нее внешних управляющих сигналов. Последние создаются специальным блоком *2*, к которому по двум шинам *А* и *Б* подводятся от ис-

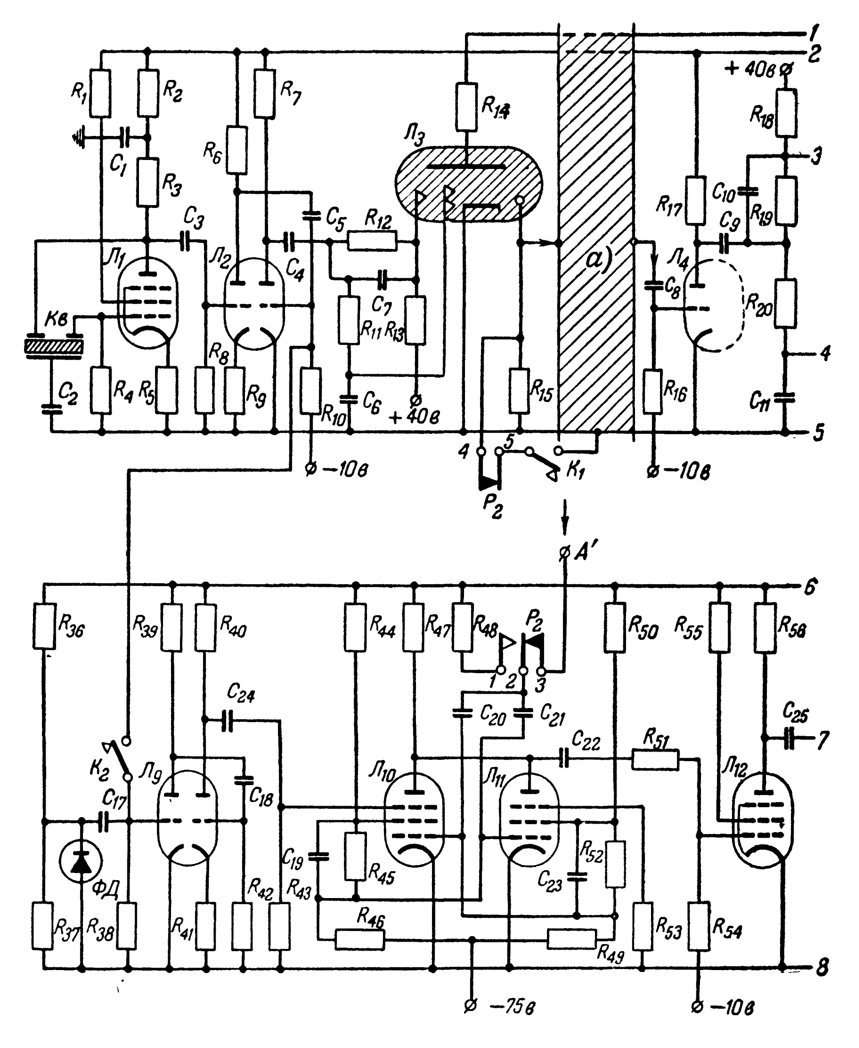
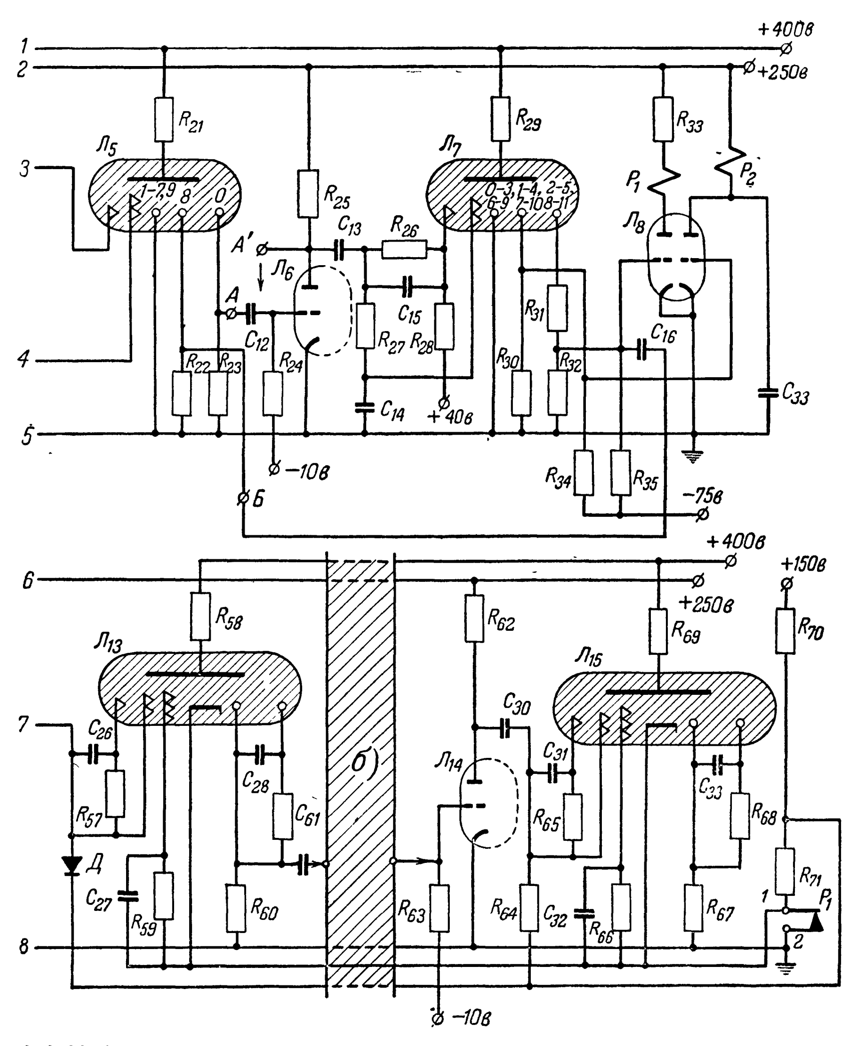


Рис. 22. Схема цифро

а — промежуточная декатронная декада, одинаковая с декадой на правом триоде
дой на

точника *1* импульсы с частотой 1 *гц*. Импульсы на шине *А* запаздывают на 0,2 *сек* по отношению к импульсам на шине *Б*.

Блок управления *2* представляет собой схему с тремя устойчивыми положениями. В нем исключается каждый



вого тахометра.

лампы $Л_2$ и декатроне $Л_3$; *б* — три промежуточные декады, одинаковые с дека- $Л_{14}$ $Л_{15}$.

третий импульс из последовательности импульсов шины *А*, а частота повторения импульсов шины *Б* делится на три. Выходные импульсы блока управления, соответствующие по фазе входным импульсам шины *А*, управляют ключевой схемой, запирая ее на 2 *сек* после односекундного интерва-

ла измерений. Выходные импульсы, соответствующие по фазе входным импульсам шины *Б*, производят сброс декатронного счетчика перед каждым секундным интервалом измерения. Между окончанием секундного интервала измерения и импульсом сброса производится визуальное считывание результата.

Электрическая схема тахометра показана на рис. 22, а напряжения в различных ее точках — на рис. 23.

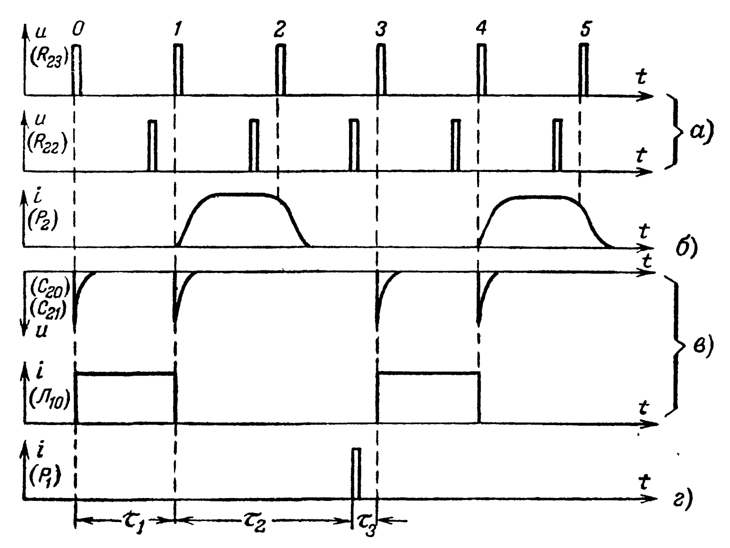


Рис. 23. Временные характеристики схемы тахометра.

а — импульсы в цепях нулевого и восьмого катодов декатрона $Л_5$ (рис. 22), подающиеся на шины *А* и *Б* соответственно; *б* — ток через обмотку реле P_2 (реле срабатывает и отпускается с задержкой по отношению к переднему и заднему фронтам импульсов тока); *в* — управляющие импульсы, подводимые к ключевой схеме, и ток через лампу $Л_{10}$; *г* — импульс тока через реле P_1, приводящий к сбросу счетчика.

τ_1 — период измерения (1 *сек*); τ_2 — период считывания результата (1,8 *сек*); τ_3 — период, когда счетчик сброшен на нуль перед следующим измерением (0,2 *сек*)

Как видно из схемы рис. 22, датчик секундных импульсов выполнен на кварцевом генераторе с частотой 1 *кгц* (на лампе $Л_1$) с последующим делением частоты на трех декатронах (на рис. 22 показаны два декатрона—$Л_3$ и $Л_5$). В качестве прибора $Л_5$ используется коммутаторный декатрон, что позволяет снимать с его восьмого и нулевого катодов сдвинутые во времени на 0,2 *сек* импульсы и подавать их на шины *Б* и *А* соответственно (рис. 23,*а*).

Двенадцатикатодный декатрон $Л_7$ используется в качестве делителя частот на три. Для этого его катоды объединяются в три группы: 0, 3, 6, 9 — 1, 4, 7, 10 — 2, 5, 8, 11.

Когда разряд в декатроне $Л_7$ устанавливается на катодах, в цепи которых включено сопротивление R_{30}, потенциал сетки правого триода лампы $Л_8$ поднимается, и реле P_2 в ее анодной цепи срабатывает (рис. 23,*б*). Тем самым прекращается подача секундных импульсов с лампы $Л_6$ к ключевой схеме (лампы $Л_{10}$ и $Л_{11}$).

Так как реле срабатывает с некоторой задержкой, то к ключевой схеме проходят два из каждых трех импульсов, возникающих на аноде лампы $Л_6$ (рис. 23,*в*). Когда разряд в декатроне $Л_7$ переходит на катоды с сопротивлениями R_{31} и R_{32} в их цепи, то потенциал сетки левого триода лампы $Л_8$ поднимается до точки отсечки анодного тока. В этом ждущем режиме лампа $Л_8$ откроется в момент прихода на ее сетку импульса с сопротивления R_{22}, установленного в цепи восьмого катода декатрона $Л_5$. Ток левого триода лампы $Л_8$ заставляет сработать реле P_1 в ее анодной цепи. Это реле срабатывает на короткое время и за 0,2 *сек* до начала счетного цикла производит сброс декатронов счетчика на нуль, подключая с помощью своего контакта все индикаторные катоды (кроме нулевых) и подкатоды декатронов $Л_{13}$ и $Л_{15}$, а также трех декатронов, не показанных на схеме к источнику положительного напряжения. Это же реле может подавать сигнал на фотокамеру для съемки результата, зафиксированного в счетчике.

Счетные импульсы от фотодиода *ФД* усиливаются лампой $Л_9$ и поступают в счетчик через ключевую схему. Последняя представляет собой триггер с двумя устойчивыми состояниями, собранный на лампах $Л_{10}$ и $Л_{11}$. Ключевая схема открыта в интервал времени, соответствующий открытому состоянию лампы $Л_{10}$ (рис. 23,*в*). В течение этого времени импульсы фотодиода, подводимые ко второй управляющей сетке лампы $Л_{10}$, усиливаются и передаются на вход счетчика (лампа $Л_{12}$). Таким образом показания счетчика ($Л_{13}$ и $Л_{15}$) соответствуют скорости турбины.

С помощью ключа K_2 производится контроль работы счетчика Включением ключа прерывается цепь импульсов от преобразователя и вместо них подводятся импульсы от кварцевого генератора с частотой 1 000 *гц*. Ключом K_1 производится остановка тахометра с фиксацией последнего результата счетчика.

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ ТЕЛЕМЕТРИИ

В области телеметрии, телеуправления и связи находят все более широкое распространение электронные переключатели источников сигналов, которые позволяют упростить линии связи и уменьшить их число.

Как правило, электронный переключатель состоит из нескольких подключенных к общей линии передачи ключевых схем, через которые транслируются сигналы. Ключевые схемы последовательно открываются на определенные интервалы времени, которые задаются специальным генератором импульсов.

Использование коммутаторного декатрона в качестве генератора импульсов для переключения позволяет по сравнению со схемами на вакуумных лампах добиться существенной экономии в схеме генератора при одновременном увеличении числа переключаемых каналов до десяти. В этом режиме выходная цепь каждого катода декатрона, используемого в качестве переключателя, соединяется со входом соответствующей ключевой схемы.

Имеются однако, частные задачи в телеметрии, где применение декатронов может дать еще большую экономию. Одним из таких случаев может быть передача данных о сигнале с изменяющейся частотой совместно с отметками, представляющими собой заранее заданные высокостабильные частоты.

На рис. 24 представлена схема устройства для передачи сигналов от нескольких частотных входов на частотный дискриминатор, преобразующий их в сигналы постоянного тока, соответствующие по уровню частоте входных сигналов.

В цепь катодов декатрона подаются сигналы от различных источников частоты. В цепь объединенных катодов 0, 2, 4, 6 и 8 поступает сигнал от телеметрической системы, а в цепь катодов 1, 3, 5, 7 и 9—частоты от высокостабильных источников, служащих для калибровки выходного уровня дискриминатора. Все частоты имеют порядок сотен килогерц.

Амплитуда колебаний на катодной нагрузке декатрона для правильной работы переключателя не должна превышать 10 *в*. Эффект переключения состоит в том, что проводимость между анодом и штырьком катода, на котором устанавливается разряд, оказывается значительно большей, чем между анодом и остальными катодами. За счет этого в анодной цепи декатрона наблюдаются колебания той же

частоты, что и на нагрузке светящегося штырька катода. Следует заметить, что электрическая связь между анодом и светящимся катодом оказывается большей у тех типов декатронов, разрядное свечение которых частично захватывает анод.

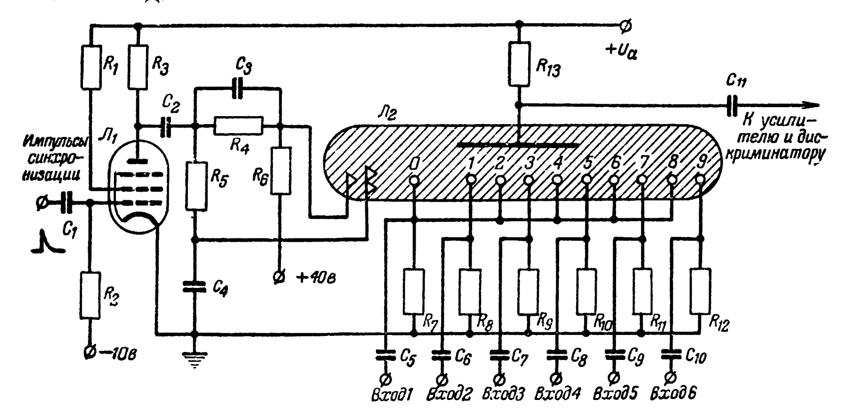


Рис. 24. Схема упрощенного электронного переключателя.
Вход 1 — вход телеметрической системы; *Входы 2, 3, 4, 5, 6* — входы калибрационных генераторов.

С анода декатрона коммутируемые колебания подаются на усилитель, с него на чувствительный дискриминатор и с выхода дискриминатора на усилитель для питания отклоняющих пластин электронно-лучевой трубки.

ПРИБОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ СВАРКИ

Использование для управления временем сварки устройств с накопительной емкостью часто не позволяет получить необходимых точностей. Ввиду этого интересно применение декатронов в приборе для точного управления временем шовной и точечной сварки сопротивлением.

В описываемом приборе практически достаточная точность работы получается при использовании такого источника частоты, как промышленная электросеть 50 *гц*. Большим эксплуатационным преимуществом прибора является то, что декатроны допускают визуальную индикацию правильности своей работы. Устройство построено на двух декатронах, один из которых управляет временем пропускания тока через место сварки, а второй — паузой между периодами пропускания тока.

На рис. 25 показана схема устройства для шовной сварки. С его помощью через место сварки периодически пропускаются импульсы тока, разделенные определенными паузами. Схема построена таким образом, что пауза между периодами пропускания тока, определяемая декатроном $Л_2$, равна четырем циклам, а период сварки, определяемый декатроном $Л_4$, — пяти циклам колебаний 50 *гц*.

На зажим *А* схемы поступают сформированные прямоугольные колебания 50 *гц*, которые ограничиваются диодами $Д_1$ и $Д_{12}$. Синусоида, из которой формируются прямоугольные колебания 50 *гц*, может быть сдвинута по фазе к опорной частоте с помощью фазовращающего моста, не показанного на схеме. В исходном состоянии разряды в декатронах устанавливаются на нулевых катодах.

После создания необходимого давления в точке сварки контакт $К_1$ замыкается, а контакт $К_2$ размыкается. Прямоугольные колебания с частотой 50 *гц* поступают на две схемы совпадений ($R_1R_3Д_2Д_3$ и $R_{12}R_{14}Д_6Д_7$), выходы которых (зажимы *Б* и *В* соответственно) связаны с сетками управляющих ламп $Л_1$ и $Л_3$. Колебания будут поступать на сетки ламп только в том случае, если на точке схемы совпадений, связанной с катодом декатрона, имеется повышенное напряжение, соответствующее горению разряда на тот же катод.

Так как в исходном состоянии разряды в декатронах установлены на нулевых катодах, то вначале импульсы пропускаются только к лампе $Л_1$. Когда разряд в декатроне $Л_2$ продвинется до четвертого катода, схема совпадений $R_{12}R_{14}Д_6Д_7$ приобретет способность пропускать импульсы к лампе $Л_3$ и декатрон $Л_4$ начнет считать. При этом разряд в декатроне $Л_2$ будет оставаться на четвертом катоде, так как схема совпадений $R_1R_3Д_2Д_3$ не пропускает входные импульсы на лампу $Л_1$ из-за ухода разряда с нулевого катода декатрона $Л_4$ после прихода к зажиму *А* пятого импульса.

Разряд в декатроне $Л_4$ последовательно переносится с катода на катод и в момент, когда он устанавливается на пятом катоде, на сетку лампы $Л_5$ поступает положительный импульс. На ее аноде возникает большой отрицательный импульс, который сбрасывает декатроны на нуль. После этого весь описанный цикл повторяется.

Как видно из схемы, во время работы декатрона $Л_4$ входные импульсы его управляющей схемы одновременно поступают на сетку лампы $Л_6$. С анода этой лампы импульсы поступают на схему поджига мощных игнитронов. Сдвиг

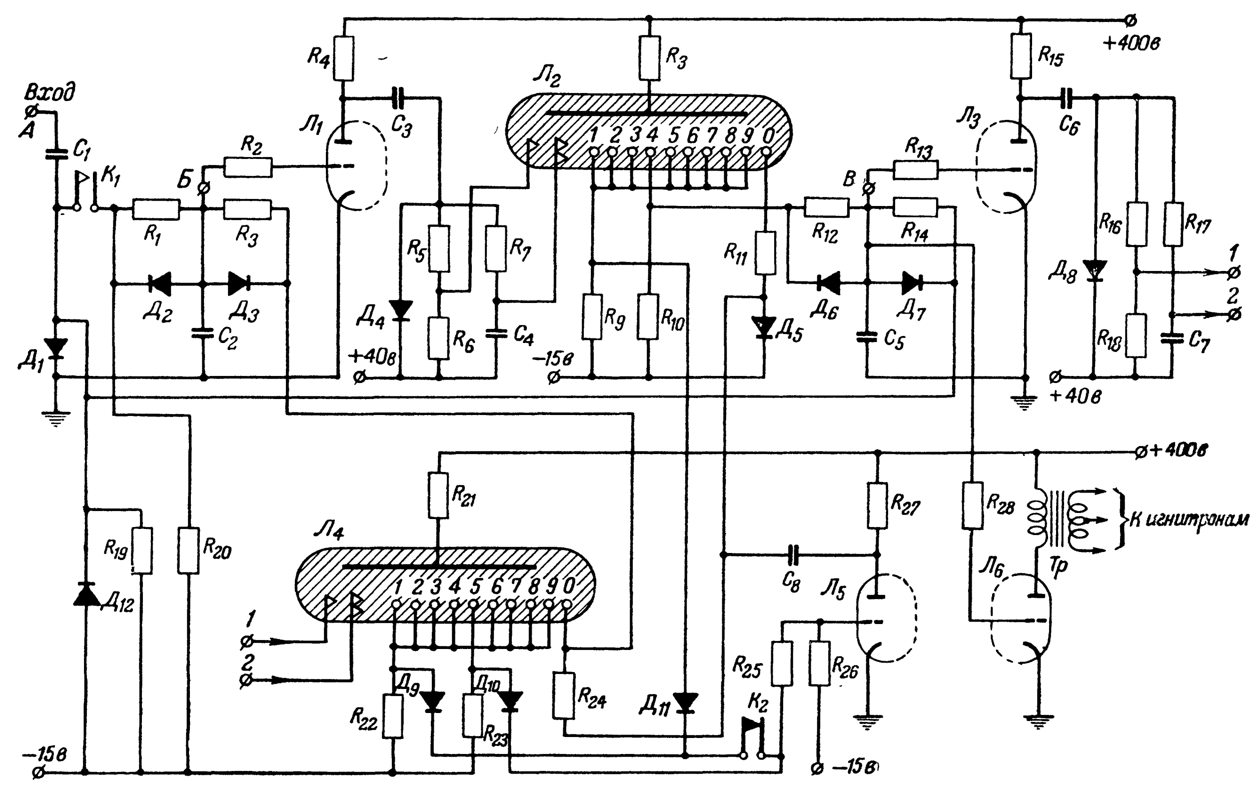


Рис 25. Схема устройства для управления шовной сваркой.

фазы импульсов на зажиме A по отношению к опорной частоте 50 *гц* позволяет регулировать угол отсечки игнитронов. Число циклов работы игнитронов, устанавливаемое устройством, и отсечка тока в каждом цикле, устанавливаемая фазовращателем, определяют полную дозу тока через место сварки.

Для прекращения работы прибора необходимо разомкнуть контакт $К_1$ и замкнуть контакт $К_2$, что приводит к сбросу декатронов на нуль в случае, если работает декатрон $Л_2$, т. е. если коммутация приходится на паузу. Если же коммутация контактов приходится на период работы декатрона $Л_4$, то цикл сварки заканчивается нормально, и лишь после прихода разряда в декатроне $Л_4$ на пятый катод декатроны сбрасываются на нуль и схема прекращает работу.

При точечной сварке рабочий цикл, который состоит из паузы и периода сварки, является единственным. Для повторения цикла требуется повторное включение. На рис. 26 приведена схема для точечной сварки, настроенная на паузу, равную трем циклам, и период сварки, равный четырем циклам частоты 50 *гц*.

Перед началом работы декатроны сброшены на нуль. После замыкания контакта $К_1$ и размыкания контактов $К_2$ и $К_3$ импульсы с частотой 50 *гц* поступают через схему совпадений $R_1R_2Д_2Д_3$ на сетку лампы $Л_1$. Разряд в декатроне $Л_2$ движется до тех пор, пока не устанавливается на третьем катоде, потенциал которого повышается и отпирает схему совпадений $R_{12}R_{13}Д_6Д_7$. Начиная с четвертого входного импульса, разряд в декатроне $Л_4$ последовательно переносится на последующие катоды, а декатрон $Л_2$ останавливается.

Возникновение разряда на четвертом катоде декатрона $Л_4$ приводит к появлению положительного импульса на сетке управляющей лампы $Л_1$ и тем самым к переходу разряда в декатроне $Л_2$ на четвертый катод. Так как обе схемы совпадений после этого теряют способность пропускать импульсы к управляющим схемам, рабочий цикл этим заканчивается.

Как и в схеме для шовной сварки во время работы декатрона $Л_4$ входные импульсы, поступающие на лампу $Л_3$, одновременно подводятся к сетке лампы $Л_6$. С ее анода импульсы подаются на схему поджига игнитронов. Размыкание контакта $К_1$ и замыкание контактов $К_2$ и $К_3$ влечет за собой сброс декатронов на нуль независимо от состояния

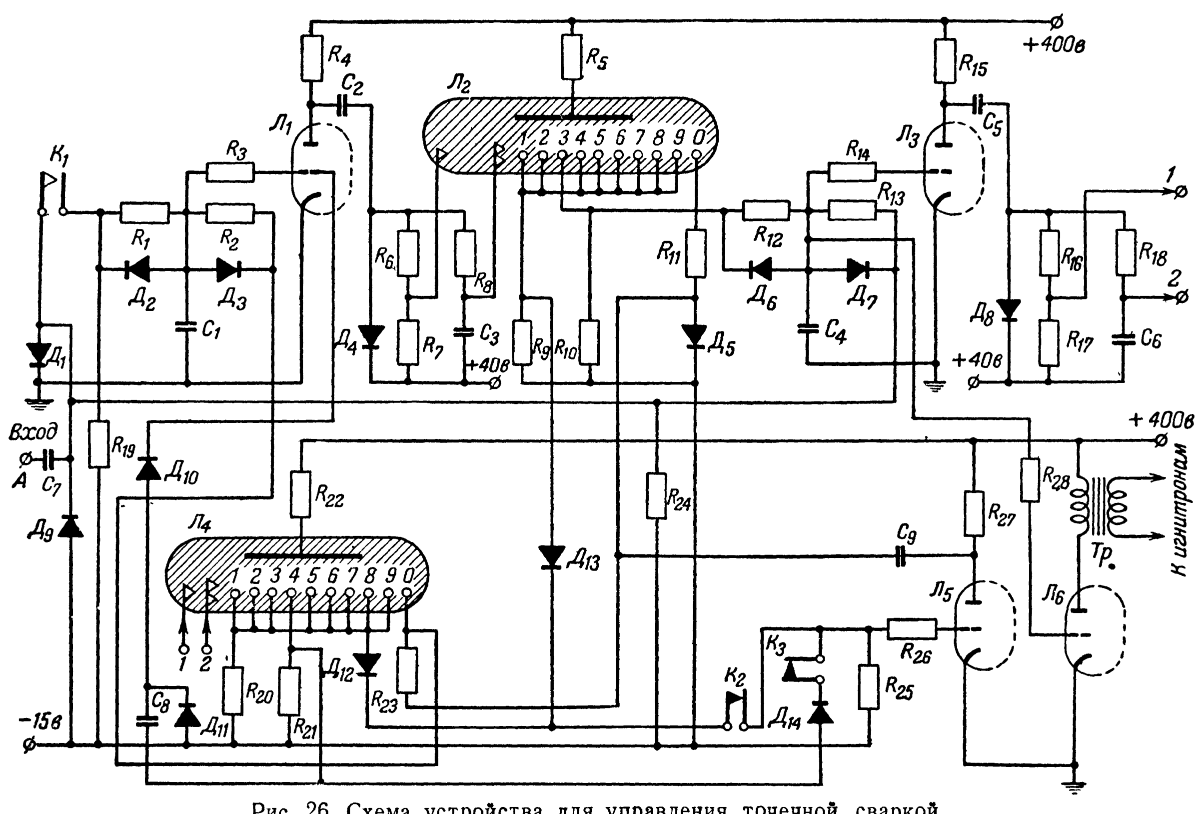


Рис. 26. Схема устройства для управления точечной сваркой.

обоих декатронов. Тем самым схема приводится в исходное состояние.

В обоих схемах регулировки сварки фаза выходных импульсов для поджига игнитронов соответствует фазе прямоугольных колебаний, подводимых к зажиму *А*. Тем самым обеспечивается необходимый режим поджига игнитронов.

Путем несложных коммутаций с помощью переключателей режим работы схем регулировки сварки может перестраиваться на другую длительность рабочих периодов. Превращение схемы шовной сварки в схему для точечной сварки также может быть произведено с помощью простых переключений. В приведенных на рис. 25 и 26 схемах, однако, рабочие периоды не могут быть больше девяти циклов 50 *гц*. Для увеличения длительности периодов необходимо использовать декатроны с большим коэффициентом пересчета или каскадное включение декатронов.

ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ТОЧНЫМ СООТНОШЕНИЕМ ПОЛУВОЛН

Ниже приводится описание устройства на декатронах, генерирующего прямоугольные колебания с точным соотношением длительностей положительной и отрицательной полуволн. Соотношение длительностей может устанавливаться в пределах от 1 : 99 до 99 : 1 с помощью щеточных переключателей. Такое устройство может быть использовано при некоторых измерениях, а также в специальных электронных переключателях.

Генератор работает следующим образом (рис. 27). Декатроны $Л_2$ и $Л_4$ управляются обычными схемами на лампах $Л_1$ и $Л_3$. Лампы $Л_6$ и $Л_7$ образуют триггер с двумя устойчивыми состояниями, управляемый лампой $Л_5$. Колебания с триггера поступают на усилитель мощности с лампой $Л_8$, представляющий собой катодный повторитель. В начальном состоянии разряд в декатроне $Л_2$ установлен на катоде *10*, а в декатроне $Л_4$—на катоде *1*. Триггер находится в положении, когда лампа $Л_6$ открыта, а $Л_7$ закрыта, что соответствует положительной полуволне на выходе.

Поступающие на вход первого декатрона импульсы заставляют разряд в нем продвигаться на следующие катоды. Когда разряд в декатроне $Л_2$ устанавливается на катоде, связанном с движком переключателя $П_1$, возникающий на нем импульс через конденсатор C_8 поступает на сетку левого триода лампы $Л_5$. Однако лампа отпирается только в том случае, если потенциал ее сетки дополнительно под-

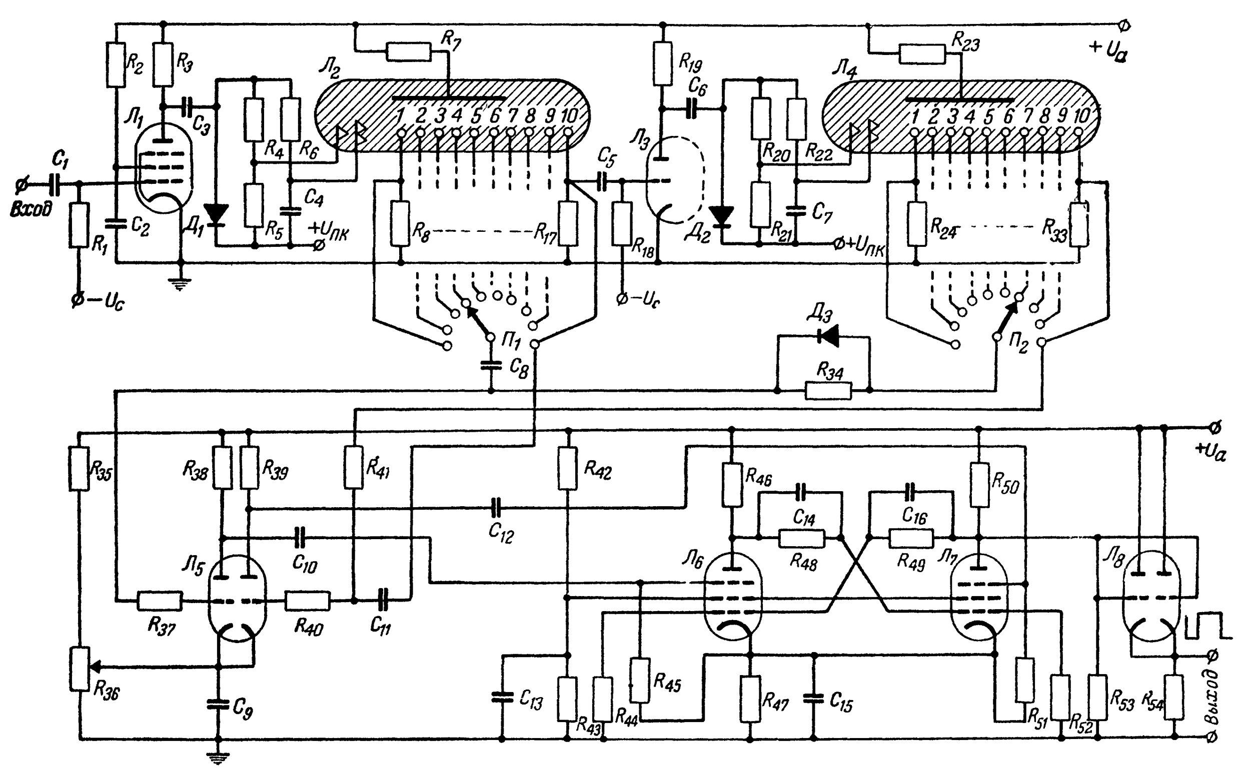


Рис. 27. Схема генератора прямоугольных колебаний с точным соотношением полуволн.

нят. Повышение потенциала сетки имеет место в момент, когда на катоде декатрона $Л_4$, к которому подключается сопротивление R_{34} устанавливается разряд. При совпадении импульсов на R_{34} и C_8 левый триод лампы $Л_5$ открывается и импульс с его анода опрокидывает триггер. С этого момента начинается отрицательная полуволна колебаний. Точно так же совпадение импульсов на десятых катодах декатронов $Л_2$ и $Л_4$ влечет за собой отпирание правого триода лампы $Л_5$. Триггер при этом перебрасывается в исходное положение, и цикл начинается сначала.

Для уменьшения времени перезаряда конденсатора C_8 после увеличения потенциала на катоде декатрона $Л_4$, связанном с движком переключателя $П_2$, параллельно сопротивлению R_{34} установлен диод $Д_3$. Это улучшает условия работы схемы при малой длительности положительных полуволн.

Недостатком данного устройства является то, что его максимальная выходная частота оказывается в 100 раз ниже рабочей частоты первого декатрона, т. е. получается не выше 100 *гц*.

ДРУГИЕ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕКАТРОНОВ

Недавно в печати появились сообщения о новом типе коммутаторного декатрона с повышенным анодным током.

Большие анодные токи позволяют непосредственно проводить коммутацию электромагнитных реле, включенных в катодные цепи коммутаторного декатрона.

Указанные коммутаторные декатроны успешно заменяют электромеханические шаговые искатели там, где требуются большая надежность, высокая скорость коммутации и гибкость, присущая электронным схемам.

В качестве примера использования декатронов, способных коммутировать электромагнитные реле, можно указать на автоматические потенциометрические мосты. Переключение прецизионных сопротивлений моста, осуществляемое декатроном с включенным в его катодную цепь реле, дает возможность повысить скорость работы моста и автоматизировать процесс измерения.

На основе потенциометрического моста подобного типа могут быть осуществлены точные цифровые омметры, вольтметры или амперметры. Для цифровых вольтметров, омметров или амперметров небольшой точности может быть использована схема на обычных коммутаторных декатронах.

В этом случае схема, подобная изображенной на рис. 17, может быть использована для получения выходного напряжения, зависящего от того, на каком из индикаторных катодов установился разряд. Это напряжение сравнивается с измеряемым с помощью нуль-индикатора. Последний прерывает цепь управляющих импульсов к декатрону в момент равенства обоих напряжений, что дает возможность судить по положению разрядного свечения декатрона о величине измеряемого напряжения.

Естественно, что для увеличения точности устройства должны быть приняты меры для стабилизации катодного тока декатрона. Для расширения пределов измерения может быть использовано несколько декатронов, включенных каскадно.

Если в катодные цепи декатрона включить вместо сопротивлений секции управляющей обмотки магнитного усилителя, а по второй управляющей обмотке пропускать измеряемый ток, то при наличии индикатора нуля, управляющего входом декатронов аналогично вышеописанному, подобный прибор можно легко использовать в качестве цифрового амперметра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные выше случаи применения декатронов далеко не исчерпывают всех заложенных в них возможностей.

Известно, например, о применении декатронов в электронных арифмометрах и других счетно-аналитических машинах, где весьма удобны возможность реверсивного счета, десятичная система пересчета и визуальный отсчет результата, даваемые декатронами. Высокие скорости счета дают определенные преимущества декатронным счетно-аналитическим машинам по сравнению с электромеханическими. Декатроны резко увеличивают быстродействие и точность измерительных и управляющих приборов с цифровым отсчетом за счет большей скорости работы и простоты управления.

Интересным и важным применением декатронов является создание на их основе электронных АТС, что достигается заменой электромеханических шаговых искателей коммутаторными декатронами. Использование для управления декатронами полупроводников позволяет добиться высокой надежности электронных АТС.

Применение миниатюрных тиратронов с холодным катодом в схемах управления декатронами позволяет еще боль-

ше упростить декатронные счетчики, а главное, помогает им с успехом конкурировать с электромеханическими счетчиками как по надежности, так и по стоимости.

В последнее время появились сообщения о новом типе декатрона, дающем выходной сигнал, достаточный для запуска следующего декатрона. Схемы счетчиков на таких декатронах максимально просты и не требуют междукаскадного формирования импульсов. Один счетный каскад, помимо декатрона, содержит только четыре сопротивления и столько же конденсаторов.

Схемы на декатронах, обладая достоинствами приборов подобного типа на вакуумных лампах, значительно проще, меньше по габаритам, экономичнее и дешевле последних. Благодаря наличию визуальной индикации и устойчивости против климатических воздействий декатроны имеют ряд преимуществ и по сравнению с полупроводниковыми приборами. Недостатком, ограничивающим применение декатронов, является их сравнительная низкочастотность, характерная для всех приборов газового разряда. Однако в целом декатроны позволяют сильно расширить область проникновения электроники в различные отрасли народного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

Брейдо И. Я., Янкин Г М., Газоразрядные счетные лампы, «Радиотехника», 1957, т. 12, № 2.

Брейдо И. Я., Янкин Г. М., Промышленные газоразрядные счетные лампы (декатроны), «Радиотехника», 1958, № 7.

Брейдо И. Я., Счетная установка на декатронах, «Радио», 1958, № 6.

Янкин Г. М., Брейдо И. Я., Яблонский Ф. М., Новый быстродействующий декатрон, «Радиотехника», 1959, № 5.

Гончарский Л. А., Многопозиционные газоразрядные переключатели, «Электричество», 1954, № 8.

Яблонский Ф. М., Многоэлектродные счетные лампы тлеющего разряда, Труды Всесоюзного общества имени А. С. Попова, 1958.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 1 р. 50 к.